



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA E GEOQUÍMICA**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO Nº 556

**INFLUÊNCIAS DAS FLUTUAÇÕES DO NÍVEL DO MAR E
MUDANÇAS CLIMÁTICAS NA DINÂMICA DOS
MANGUEZAIS DO LITORAL SUL DE SANTA CATARINA
DURANTE O HOLOCENO**

Dissertação apresentada por:

DANISE OLIVEIRA SOUZA ROCHA

Orientador: Prof. Dr. MARCELO CANCELA L. COHEN (UFPA)

**BELÉM
2019**



Universidade Federal do Pará
Instituto de Geociências
Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica

**INFLUÊNCIAS DAS FLUTUAÇÕES DO NÍVEL DO MAR E
MUDANÇAS CLIMÁTICAS NA DINÂMICA DOS
MANGUEZAIS DO LITORAL SUL DE SANTA CATARINA
DURANTE O HOLOCENO**

**DISSERTAÇÃO APRESENTADA POR
DANISE OLIVEIRA SOUZA ROCHA**

**Como requisito parcial à obtenção do Grau de Mestre em Ciências na Área de
GEOLOGIA linha de pesquisa ANÁLISE DE BACIAS SEDIMENTARES**

Data de Aprovação: 10 / 06 / 2019

Banca Examinadora:

Prof. Marcelo Cancela Lisboa Cohen
Orientador – UFPA

Prof. Luiz Carlos Ruiz Pessenda
Membro – USP

Prof. José Augusto Martins Corrêa
Membro - UFPA

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Pará
Gerada automaticamente pelo módulo Ficat, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)**

R672i Rocha, Denise Oliveira Souza
Influências das flutuações do nível do mar e mudanças climáticas
na dinâmica dos manguezais do litoral Sul de Santa Catarina durante o
Holoceno / Denise Oliveira Souza Rocha. — 2019.
xiii, 45 f. : il. color.

Orientador(a): Prof. Dr. Marcelo Cancela Lisboa Cohen
Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em
Geologia e Geoquímica, Instituto de Geociências, Universidade
Federal do Pará, Belém, 2018.

1. Manguezal. 2. Mudanças climáticas. 3. Holoceno. 4. Santa
Catarina-SC. I. Título.

CDD 551.457

Com amor: ao meu esposo Almir e à minha mãe Maria das Dores.

AGRADECIMENTOS

Agradeço em primeiro lugar a Deus que sempre me deu forças para lutar pelos meus objetivos.

Ao meu esposo Almir que sempre esteve me incentivando para crescer nos estudos, dando total apoio nos mais diversos momentos.

Aos meus pais, irmãos, amigos que acompanharam minha trajetória até aqui e que torceram sempre por minha vitória.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

À Universidade Federal do Pará e ao Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica (PPGG-UFPA) pela disponibilidade de salas de estudo e laboratórios.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP).

Ao Laboratório de Dinâmica Costeira (LADIC) e ao Laboratório de Oceanografia (LOC).

Ao Instituto Federal do Pará (IFPA).

Ao Laboratório C-14 no Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA-USP).

Ao meu orientador Prof. Dr. Marcelo Cohen que se mostrou um excelente profissional, sempre disponível a ajudar e ensinar, dando todo suporte para realização desta dissertação.

Ao Prof. Dr. Marlon França que prestou total apoio a algumas atividades referentes ao mestrado.

Aos amigos do grupo de pesquisa sobre dinâmicas costeiras que foram ao longo do curso se mostrando pessoas mais que especiais, contribuindo não só para o trabalho de mestrado, mas também para o crescimento pessoal.

Á minha amiga Érika Rodrigues que prestou todo suporte durante os processamentos das amostras, leituras de pólen e etc., meus sinceros agradecimentos.

A minha amiga Vanessa Pinheiro que sempre estava disponível para ajudar no que fosse preciso, que sempre me encorajou nos momentos de desânimo, que é um espelho para mim, de pessoa dedicada, amiga e comprometida.

“Seja forte e corajoso! Mãos ao trabalho! Não tenha medo nem desanime, pois Deus, o Senhor, o meu Deus está com você”.

(Crônicas 28:20)

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi identificar os principais fatores reguladores da dinâmica dos manguezais no limite austral desse ecossistema no continente sul americano, na região de Laguna - Santa Catarina. Este estudo foi baseado na integração de análises de fácies sedimentares, isótopos ($\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$), razões elementares da matéria orgânica sedimentar (C/N), dados polínicos e datações ^{14}C obtidos das amostras do testemunho RP4 (S 28°29'18.41" e W 48°50'47.01) com 2 m de profundidade coletado em uma planície de maré próxima à Lagoa de Santo Antônio, 8 km distante da atual linha de costa, a oeste da cidade de Laguna. Foram individualizadas três associações de fácies: Planície Fluvial Herbácea, Canal de Fluvial e Planície de Maré com *Spartina*. A associação de fácies Planície Fluvial Herbácea é caracterizada pela presença de lama maciça com tubos bentônicos, fragmentos de conchas e raízes. A associação de fácies Canal de Fluvial apresenta areia com estratificação cruzada e areia maciça. No topo ocorre a associação de fácies Planície de Maré com *Spartina* representada pela predominância de lama siltosa contendo fragmentos de raízes. A integração dos dados sugere um aumento do nível relativo do mar durante o Holoceno, quando foram afogados os baixos cursos dos rios que favoreceu a formação dos sistemas lagunares que são bem representados em toda costa do estado de Santa Catarina, especialmente na área de estudo. Uma gradual transgressão marinha durante o Holoceno teria favorecido a expansão dos manguezais sobre as planícies de maré. Do ponto de vista físico-químico e hidrodinâmico as condições ambientais foram favoráveis para o estabelecimento e expansão dos manguezais nos últimos séculos, quando houve forte contribuição de matéria orgânica de origem estuarina no local de estudo e formação de amplas planícies de maré lamosas. O fato de não ter sido encontrado grãos de pólen de manguezal desde 9000 anos cal AP no testemunho RP4 indica que outras variáveis podem ter impedido a implantação do manguezal. Provavelmente, além do nível de mar mais baixo, as temperaturas durante os invernos holocênicos no limite austral dos modernos manguezais sul americanos, inviabilizaram a instalação dos manguezais durante o intervalo de tempo analisado no testemunho RP4. O aumento nas temperaturas mínimas de inverno nas últimas décadas tem permitido a expansão do limite austral dos manguezais através preliminarmente das árvores de *Laguncularia* para o interior da zona temperada.

Palavras-chave: Manguezal. Mudanças climáticas. Holoceno. Santa Catarina.

ABSTRACT

The objective of this work was to identify the main factors controlling the mangrove dynamics in the southern limit of this ecosystem in the South American continent, in the Laguna - Santa Catarina region. This study was based on the integration of sedimentary facies, isotopes ($\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$), elementary organic matter (C/N), and pollen data with ^{14}C dates obtained from core RP4 (S 28°29'18.41 " and W 48°50'47.01) with 2 meters depth sampled from a tidal flat near the Santo Antônio Lagoon, 8 km away from the present coastline, west of the town of Laguna. Three facies associations were identified: facies Herbaceous Floodplain, Fluvial channel and tidal flat with *Spartina*. The Herbaceous Floodplain is characterized by massive mud with benthic tubes, fragments of shells and roots. The facies association of Fluvial Channel presents sand with crossed stratification and massive. The top of the studied core presents the facies association Tidal Flat with *Spartina* represented by mud silt with roots fragments. The integration of these data suggests an increase in the relative sea-level during the Holocene, when the low river courses were flooded and it favored the formation of lagoon systems that are well represented along the Santa Catarina littoral, especially in the study area. A gradual Holocene marine transgression would have favored the mangrove expansion on tidal flat flats. Considering the physico-chemical and hydrodynamic, probably the sedimentary environment was favorable for the establishment and expansion of mangroves over the last centuries, when occurs a strong contribution of organic matter sourced from estuary in the study site and development of tidal flats. The absence of mangrove pollen grains along the studied core (<9000 years AP) indicates, besides the low relative sea-level stand, another factor must have prevented mangrove establishment in the study area. The presence of *Laguncularia* and *Avicennia* shrubs/trees nowadays in the study area and the absence of mangrove pollen grains in the studied stratigraphic profile indicates that these genus were established only during the last decades. Probably, the temperatures during the Holocene winters on the modern austral limit of the South American mangroves prevented the mangrove establishment during that period the sediments of the core RP4 were accumulated. Probably, the increase in minimum winter temperatures during the last decades has allowed the expansion of the southern limit of the southern American mangroves into temperate zones.

Keywords: Mangrove, Climate changes. Holocene. Santa Catarina.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- Figura 1- Mapa de localização da área de estudo.4
- Figura 2- Mapa das Unidades geológicas ambientais de acordo com a classificação do Programa geologia do Brasil, levantamento da geodiversidade de Santa Catarina. (Fonte: Da autora).6
- Figura 3- A- Manguezal dominando por Laguncularia, passando para samambaia-do-mangue (*Acrosticum danaefolium*). B- *Avicennia* ao fundo da imagem em meio aos arbustos de Laguncularia, C - Samambaia-do-mangue (*Acrosticum danaefolium*), D-Vegetação herbácea (*Spartina*) e o fundo arbustos de Laguncularia.8
- Figura 4- Porção superior do testemunho RP4 já radiografado (Fonte: Da autora), B- Amostrador Russo utilizado na coleta do testemunho RP4 (Fonte: Azevedo 2018).10
- Figura 5- Imagens das radiografias do testemunho RP4 da base para o topo (da direita para a esquerda), notar a presença de conchas no segmento 150 a 200m.11
- Figura 6- Exemplares dos tipos polínicos encontrados no testemunho RP4: (A) Pólen de Poaceae; (B) Mirsynaceae, (C) *Ilex*; (D) *Alchornea*; (E) Araliaceae e (F) Myrtaceae.16
- Figura 7- Composições isotópicas das plantas do ciclo fotossintético C3, C4 e CAM (Fonte: Modificado de França 2010).19
- Figura 8- Diagrama binário (valores $\delta^{13}C$ e C/N) das fontes de matéria orgânica sedimentar terrestre e marinha (modificado de Lamb *et al.* 2006, Meyers 2003).20
- Figura 9- Perfil estratigráfico, associações de fácies e diagrama polínico do testemunho RP4. Fonte: Da autora.29
- Figura 10- Conteúdo polínico do testemunho RP4 com divisão das famílias dos grupos ecológicos: Herbs (ervas), Árvores (Trees), Aquatic (Plantas Aquáticas), Palms (Palmeiras) e Ferns (Esporos).31

Figura 11- Perfil estratigráfico, divisão de fácies, dados isotópicos ($\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$), razões elementares de C/N e grupos polínicos do testemunho RP4.32

Figura 12- Diagrama binário $\delta^{13}\text{C}$ versus C/N para as amostras do testemunho RP4 baseado na associação de fácies.34

Figura 13- Temperatura máxima, mínima e média do intervalo entre 1954 a 2008 das estações meteorológicas em Santa Catarina: (A) Lajes em fevereiro, (B) Urussanga em novembro, (C) Caçador em setembro e (D) São Joaquim em janeiro, com suas respectivas tendências em períodos divididos pelo ponto de mudança climática. (Fonte: Modificado de Minuzzi 2010).37

LISTA DE ABREVIATURAS

AMS - *Accelerator Mass Spectrometer* - Espectrômetro de Massa acoplado a um acelerador de partículas

Cal AP - Idade calibrada em anos Antes do Presente

CAM - Crassulacean acid metabolism

CENA - Centro de Energia Nuclear na Agricultura

LACUFF - Laboratório de Radiocarbono da Universidade Federal Fluminense

LADIC - Laboratório de Dinâmica Costeira

NRM - Nível Relativo do Mar

C/N- Razão elementar de carbono e nitrogênio

UGAMS - Centro de Estudos Aplicados a Isótopos da Universidade da Geórgia

UFPA - Universidade Federal do Pará

USP - Universidade de São Paulo

VPDB - Viena Pee Dee Belemnite

CST- Centro de Sistemas Terrestre

INPE- Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

MOHC- Met Office Hadley Centre

IPCC - Intergovernmental panel on Climate Change - Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas

TSM- Temperatura da superfície do mar

UNEP- Programa das Nações Unidas para o Ambiente

A.D - Anno Domini – Ano do Senhor

SUMÁRIO

DEDICATÓRIA	iv
AGRADECIMENTOS	v
EPÍGRAFE	vi
RESUMO	vii
ABSTRACT	viii
LISTA DE ILUSTRAÇÕES	ix
LISTA DE ABREVIATURAS	xi
1 INTRODUÇÃO 1	
1.1 JUSTIFICATIVA DO TRABALHO	2
1.2 OBJETIVOS	3
1.2.1 Objetivo geral	3
1.2.2 Objetivos específicos	3
2 DESCRIÇÃO E LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO 4	
2.1 LOCALIZAÇÃO	4
2.1 GEOLOGIA E GEOMORFOLOGIA	4
2.2 VEGETAÇÃO	6
2.3 CLIMA	8
3 MATERIAIS E MÉTODOS 10	
3.1 CAMPO	10
3.2 ACONDICIONAMENTO DAS AMOSTRAS	10
3.3 DESCRIÇÕES DE FÁCIES E RADIOGRAFIA DO TESTEMUNHO	11
3.4 ANÁLISES GRANULOMÉTRICAS DO SEDIMENTO	11
3.5 DATAÇÃO POR CARBONO-14 (TÉCNICA AMS)	11
3.6 PRÉ-TATAMENTO DAS AMOSTRAS PARA ANÁLISE $\delta^{13}\text{C}$, C e N TOTAL	12
3.7 MÉTODOS PALINOLÓGICOS	12
3.7.1 Processamento das amostras	12
3.7.2 Tratamento com Ácido Clorídrico (HCl)	13
3.7.3 Tratamento com Ácido Fluorídrico (HF) concentrado	14
3.7.4 Tratamento com Ácido Acético Glacial ($\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2$)	14

3.7.5 Tratamento com Acetólise	14
3.8 MONTAGEM DE LÂMINAS PARA A MICROSCOPIA	15
3.9 ANÁLISE MICROSCÓPICA E CONFECÇÃO DE GRÁFICOS POLÍNICOS	15
4 ESTADO ATUAL DO CONHECIMENTO	17
4.1 FERRAMENTAS UTILIZADAS EM ESTUDOS AMBINETAIS	17
4.1.1 Palinologia	17
4.1.2 Ciclos fotossintéticos C3, C4 E CAM	17
4.1.3 Composição isotópica de carbono ($\delta^{13}\text{C}$)	18
4.1.5 Razões elementares de C/N	19
4.1.6 Datação ^{14}C	20
4.1.7 Manguezais	20
4.1.8 Mudanças no nível relativo do mar (NRM) e dinâmica dos manguezais durante o Holoceno	21
4.1.9 Mudanças climáticas durante o Holoceno	23
5 RESULTADOS	26
5.1 IDADES E TAXAS DE SEDIMENTAÇÃO DO TESTEMUNHO RP4	26
5.2 ASSOCIAÇÃO DE FÁCIES E CONTEÚDO POLÍNICO	26
5.2.1 Associação de fácies planície fluvial herbácea	Erro! Indicador não definido.
5.2.2 Associação de fácies canal de maré	29
5.2.3 Associação de fácies planície de maré com <i>Spartina</i>	30
6 INTERPRETAÇÃO E DISCUSSÃO	33
6.1 PALEONÍVEIS MARINHOS NA COSTA DE SANTA CATARINA	35
6.2 MUDANÇAS CLIMÁTICAS RECENTES NO BRASIL	36
7 CONCLUSÃO	38
REFERÊNCIAS	39

1 INTRODUÇÃO

Os manguezais são ecossistemas costeiros, caracterizados por ocupar planícies de maré, constituídos por sedimentos lamosos ricos em matéria orgânica com intensa bioturbação e fitoturbação (Silva Jr 1998). Ao longo da costa brasileira, os manguezais são principalmente representados pelos gêneros *Avicennia*, *Rhizophora* e *Laguncularia* (Cohen *et al.* 2012). Atualmente essas florestas têm despertado grande atenção da comunidade científica devido a sua susceptibilidade às mudanças do clima, assim como sua capacidade de afetar o clima, pois estas florestas conseguem sequestrar e preservar uma significativa quantidade de carbono em seu substrato (Giri *et al.* 2011). Apesar dos manguezais estarem presentes apenas em 0,7% da área total de florestas tropicais do mundo, a posição dos manguezais na interface continente-oceano sugere um importante papel desse ecossistema no ciclo do carbono (Downing & Cataldo, 1992; Kristensen *et al.* 2008, McLeod *et al.* 2011). Além disso, os produtos e serviços fornecidos pelos manguezais têm sido amplamente descritos na literatura científica e incluem, por exemplo, a proteção das costas contra processos erosivos (Ewel *et al.* 1998), fontes e sumidouros de carbono orgânico (Dittmar *et al.* 2006), sedimentos (Walsh & Nittrouer, 2004) e produtividade vegetal e animal (Ewel *et al.* 1998).

Vários estudos (Cohen *et al.* 2008, Cohen *et al.* 2012, Cohen *et al.* 2015, França *et al.* 2012, Lara & Cohen 2009, Smith *et al.* 2011) têm sido realizados no litoral brasileiro, principalmente na porção norte do país onde estão localizadas as mais extensas áreas de manguezais do Brasil. Esses estudos utilizam dados geomorfológicos, sedimentológicos, palinológicos, isotópicos ($\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$) e elementar (C/N) da matéria orgânica sedimentar juntamente com métodos de datação ^{14}C com o objetivo de fornecer modelos da dinâmica dos manguezais durante principalmente o Holoceno.

Resultados desses estudos indicam que o litoral brasileiro sofreu um aumento do nível do mar pós-glacial juntamente com impactos das mudanças nas descargas fluviais. Tais influências têm sido consideradas as principais forças que regulam a expansão e contração dessas florestas (Cohen *et al.* 2012, Cohen *et al.* 2014), embora, a tectônica possa ter influenciado nesse cenário geológico pelo menos durante o Holoceno (Rossetti & Valeriano 2007, Miranda *et al.* 2009).

No que se refere ao clima, tem ocorrido expressivo aumento nas concentrações dos gases de efeito estufa, tais como o CO_2 e CH_4 durante o século XX. Estudos recentes do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC em inglês) apontam que as mudanças observadas em ecossistemas terrestres e marinhos associados à mudança do clima

incluem alteração na distribuição de espécies, tamanhos das populações, composição de comunidades e produtividade de vegetais. Entre os principais resultados do Terceiro Relatório de Avaliação do IPCC (2014) foram observadas mudanças no tempo de eventos biológicos, com, por exemplo: tempo de crescimento, florescência e reprodução; mudanças na distribuição de espécies, ligadas às mudanças nos fatores climáticos, muitos táxons (pássaros, insetos, vegetais) mostraram mudanças em morfologia, fisiologia e comportamento associadas às mudanças nas variáveis climáticas. Além disso, também foram observadas mudanças no fluxo de rios, inundações, secas, aumento nas temperaturas mínimas do inverno e qualidade da água, que afetaram a biodiversidade e os bens e serviços proporcionados por ecossistemas.

Quanto aos ambientes costeiros e marinhos que são sensíveis às mudanças na temperatura da água e aos eventos extremos, segundo os resultados específicos do IPCC (2014) os recifes tropicais e subtropicais de corais têm sido afetados negativamente pelo aumento da temperatura da superfície do mar (TSM), principalmente durante os eventos El Niño. Além disso, já se percebe mudanças em sistemas marinhos, particularmente nas populações de peixes que estão ligadas às oscilações de larga escala do clima. As projeções dos impactos dos extremos climáticos sobre ecossistemas terrestres e marinhos indicam que indivíduos, populações, espécies, composição e função de ecossistemas serão afetadas direta e indiretamente.

Portanto, no intuito de avaliar os impactos das flutuações do nível do mar e mudanças do clima no limite austral dos manguezais sul americanos durante o Holoceno e em especial no último século foi determinado o conteúdo polínico e a fonte da matéria orgânica sedimentar por meio de análises isotópicas ($\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$) e elementares (C/N), assim como as feições sedimentares (estruturas e granulometria) ao longo de um testemunho amostrado de uma planície de maré ocupada por manguezais representados por *Laguncularia* e *Avicennia*. Cronologicamente, os eventos identificados foram baseados em 3 datações ^{14}C . Os mapas de vegetação e geomorfologia são baseados em imagens Landsat. O local de estudo situa-se nas proximidades da Lagoa de Santo Antônio, localizada na cidade de Laguna no sul do litoral Catarinense.

1.1 JUSTIFICATIVA DO TRABALHO

A área de estudo situa-se no limite austral dos manguezais do continente sul-americano. Deve ser enfatizado que estudos de reconstituição paleoambiental ainda são escassos nessa área, assim como a compreensão da resposta dos manguezais às mudanças do

clima e do nível relativo do mar durante o Holoceno. Os dados obtidos nesse trabalho permitiram associar a dinâmica dos manguezais e do ambiente de sedimentação às tendências climáticas do Holoceno e do último século.

Como hipótese desse trabalho, os manguezais presentes atualmente nesse limite austral do continente sul-americano seriam uma consequência da migração dos manguezais de setores do norte do Estado de Santa Catarina em resposta ao aumento das temperaturas mínimas de inverno registradas ao longo das últimas décadas no sul do Brasil.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

O objetivo principal desse trabalho é identificar a influência das tendências climáticas naturais do Holoceno e antropogênicas/naturais do último século na dinâmica dos manguezais e ambiente de sedimentação da Laguna de Santo Antônio, litoral sul de Santa Catarina, onde ocorre o limite austral dos manguezais sul americanos, sob stress das baixas temperaturas de inverno.

1.2.2 Objetivos específicos

- Caracterizar os ambientes sedimentares e as principais unidades de vegetação presentes na área de estudo;
- Determinar as principais feições sedimentares (granulometria e estruturas), assembleias polínicas e varrições isotópicas ($\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$), assim como os valores C/N da matéria orgânica sedimentar ao longo do testemunho RP4 com 2 m de profundidade.
 - Determinar a cronologia dos eventos com base em 3 datações por Carbono-14.
 - Reconstituir o paleoambiente e a paleoflora durante o Holoceno;
 - Avaliar o grau de influência das componentes alogênicas (Clima, NRM e tectonismo) e autogênicas (dinâmica dos canais) sobre os manguezais;
- Correlacionar os padrões de variação do NRM e clima obtidos a partir do conjunto de dados deste trabalho com os padrões globais.

2 DESCRIÇÃO E LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

2.1 LOCALIZAÇÃO

A área de estudo localiza-se na porção sul do litoral do estado de Santa Catarina próximo a cidade de Laguna (Figura 1). O ponto amostrado foi denominado de RP4 e corresponde a um furo de sondagem nas proximidades da lagoa de Santo Antônio, que está inserido no complexo lagunar Santo Antônio, Imaruí e Mirim.

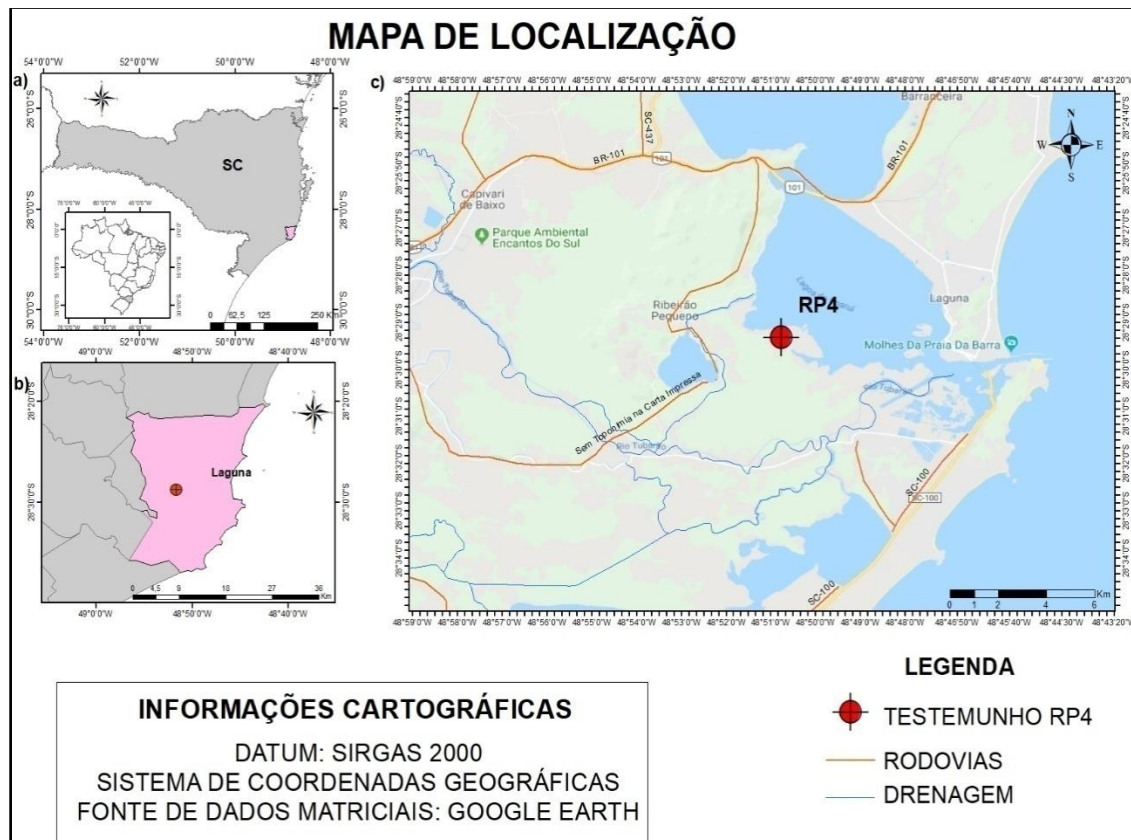


Figura 1- Mapa de localização da área de estudo. Fonte: Da autora.

2.1 GEOLOGIA E GEOMORFOLOGIA

Segundo o Programa Geologia do Brasil - Levantamento da geodiversidade realizado no estado de Santa Catarina (Viero & Silva 2016) a região de estudo está inserida principalmente no Domínio dos Sedimentos Cenozoicos Inconsolidados ou Pouco Consolidados, depositados em meio aquoso, porém também é notável a ocorrência do Domínio de Sedimentos Cenozoicos Eólicos e do Domínio dos Complexos Granitóides não Deformados.

O Domínio dos Sedimentos Cenozoicos Inconsolidados ou Pouco Consolidados se divide em cinco unidades geológico-ambientais que são: ambientes de planícies aluvionares

recentes, ambientes fluviolacustres, ambiente lagunar, ambiente marinho costeiro e ambiente misto. O Domínio dos Sedimentos Cenozoicos Eólicos compreende os depósitos arenosos gerados a partir do retrabalhamento de sedimentos preexistentes, principalmente os sedimentos marinhos, que são transportados pela ação do vento na faixa litorânea. Esse domínio ocorre desde a ilha de Santa Catarina até o limite com o Rio Grande do Sul.

O Domínio dos Complexos Granitóides não Deformados incluem a Série Granítica Alcalina e Série Granítica Subalcalina que são formadas por rochas graníticas não deformadas, que ocupam uma grande área formada pelo complexo granitóide que margeia a planície costeira sul. Entre as unidades geológicas que representam a Série Granítica Alcalina incluem-se os granitos Imaruí-Capivari, Jaguaruna e Rio Chicão. A Série Granítica Subalcalina é representada pelo granito Barra da Laguna (Viero & Silva 2016).

A unidade Ambiente de Planície Aluvionar recente compreende as áreas planas situadas ao longo dos rios, que são inundadas periodicamente em épocas cheias. Sua composição litológica é representada por sedimentos arenosos e lamosos e, eventualmente, com depósitos de cascalho (Viero & Silva 2016). Seus depósitos sedimentares se encontram em constante acumulação pela ação fluvial. Os terrenos são pouco a mal drenados nas planícies de inundação, sendo periodicamente inundáveis, e bem drenados nos terraços, onde se desenvolvem solos mais profundos e estratificados (Viero & Silva 2016).

A unidade Ambiente Fluviolacustre é representada pelas áreas em que os rios cortam os terrenos ocupados por antigas lagoas ou lagunas costeiras. Essas áreas constituem áreas planas, que podem ocupar extensas superfícies e se estender para muito além das margens dos rios, frequentemente apresentam fisiografia na forma de bacias, com elevada dificuldade de drenagem em épocas de cheias. As cidades de Tijucas, São José, Palhoça, Paulo Lopes, a oeste e noroeste de Imbituba, em terrenos a oeste do complexo lagunar Mirim-Imaruí-Santo Antônio, ao longo do rio Tubarão das Conchas e entre Jaguaruna e Araranguá são os locais de ocorrência dessa unidade (Viero & Silva 2016).

A terceira unidade geológico-ambiental descrita foi denominada de Ambiente Lagunar que compreende depósitos arenosos associados às margens de corpos aquosos intercalados com depósitos argilosos de fundo lagunar e/ou fluvial. Aqui também são inseridos os depósitos lamosos e de turfa das paleolagunas existentes na região cuja origem está relacionada ao processo de colmatação de corpos aquosos costeiros, que vão sendo progressivamente vegetadas à medida que suas lâminas de água diminuem. Esta unidade pode ser encontrada em Itapema, Porto Belo, na ilha de Santa Catarina, na porção continental de

Florianópolis e em São José e Palhoça e, principalmente, no litoral sul catarinense (Viero & Siva 2016).

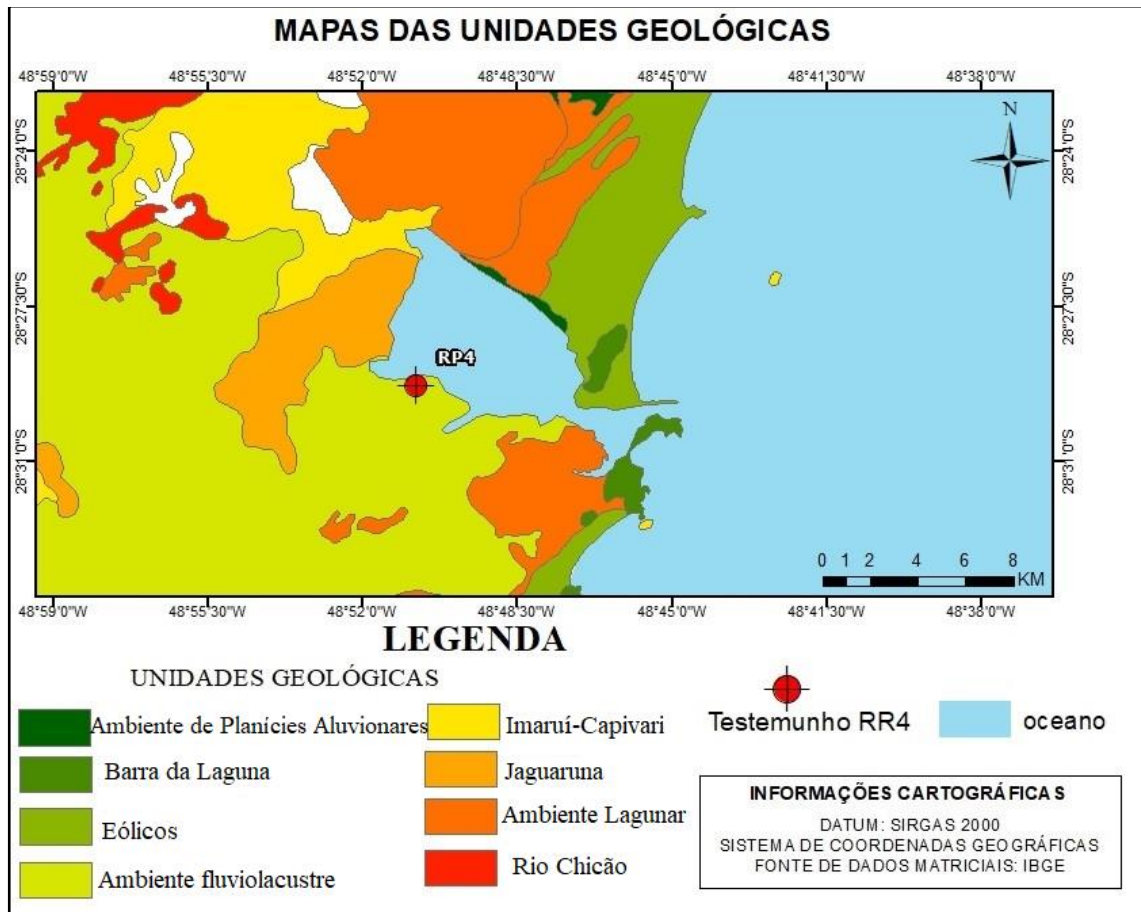


Figura 2- Mapa das Unidades geológicas ambientais de acordo com a classificação do Programa geologia do Brasil, levantamento da geodiversidade de Santa Catarina. Fonte: Da autora.

2.2 VEGETAÇÃO

O estado de Santa Catarina apresenta uma ampla variedade ambiental, graças a sua situação geográfica, formas de relevo, natureza de suas rochas e diversificação dos solos, o que dá ao estado uma multiplicidade de paisagens naturais e de formações vegetais. Suas regiões fitogeográficas foram divididas em cinco grandes grupos que apresentam características próprias, quanto a vegetação, ao clima e ao relevo, são elas: Região da Floresta Ombrófila Densa (Mata Atlântica), Região da Floresta Ombrófila Mista (Mata de Araucária), Região da Floresta Estacional decidual (Mata caducifólia), Região da Savana (Campos do Planalto) e Área das Formações Pioneiras (Santa Catarina 1991).

A região estudada enquadra-se na classificação de Área das Formações Pioneiras cuja denominação refere-se a vegetação constituída de espécies colonizadoras de ambientes

instáveis ou em fase de estabelecimento, isto é, áreas subtraídas naturalmente a outros ecossistemas ou que surgiram em função da atuação recente ou atual dos agentes morfodinâmicos e pedogenéticos (Santa Catarina 1991).

As espécies pioneiras podem ser classificadas quanto ao ambiente em que se desenvolvem em formações de influência marinha (restingas), fluviomarinha (mangue) e fluviais (vegetação arbustiva, herbácea e palmeiras). As formações de influência marinha são denominadas de restingas, em geral, ocorrem próximo ao mar, incluindo vegetação do porte arbustivo e herbáceo.

Na região costeira do sul catarinense encontram-se áreas que são periodicamente atingidas pelas águas salgadas do oceano, como pequenos rios, canais, margens de baías, banhados, brejos, em que se desenvolvem uma vegetação característica, denominada de manguezais. Entre as espécies que mais ocorrem nesta região destacam-se: *Avicennia schaueriana*, *Laguncularia racemosa*, *Hibiscus tiliaceus*, *Var pernambucensis*, *Acrostichum spp* e *Rhizophora mangle* (Reitz 1961) (Figura 3).

A formação de influência fluvial é representada pela vegetação de porte arbustivo e herbáceo que se desenvolvem sobre planícies aluviais e fluviolacustres, sendo suas principais espécies as Cyperaceae e gramíneas altas (Santa Catarina 1991).

Na área de estudo foram encontradas árvores de manguezal dos gêneros *Laguncularia* e *Avicennia*. Em contato com as espécies de manguezal também ocorrem espécies de samambaia-do-mangue (*Acrostichum danaefolium*) e vegetação herbácea representada por Poaceae (*Spartina*) (Figura 3).

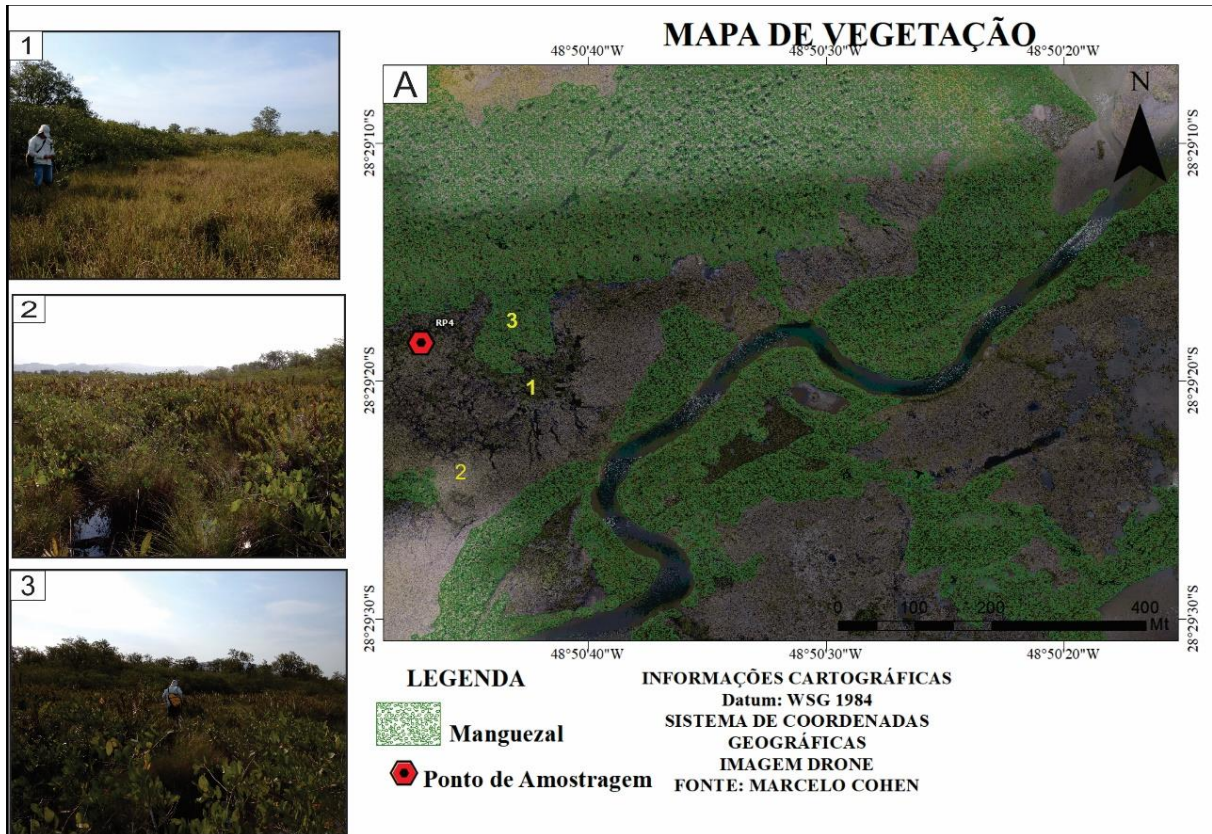


Figura 3- A- Delimitação da vegetação de manguezal na área de estudo. 1- Vegetação herbácea (*Spartina*) e ao fundo arbustos de *Laguncularia*. 2 - Samambaia-do-mangue (*Acrosticum danaeifolium*) 3-*Avicennia* ao fundo da imagem em meio aos arbustos de *Laguncularia*. Fonte: Da autora.

2.3 CLIMA

Segundo a classificação de Köppen, o clima do Estado de Santa Catarina foi classificado como mesotérmico (Grupo C), uma vez que as temperaturas médias do mês mais frio estão abaixo de 18°C e superior a 3°C, sendo enquadrado no tipo úmido (f), sem estação seca definida (Santa Catarina 1991).

Ainda na mesma classificação é possível distinguir, graças ao fator altitude, dois subtipos denominados Cfa e Cfb: o clima subtropical (Cfa) apresenta temperatura média no mês mais frio inferior a 18°C e temperatura média no mês mais quente acima de 22°C, com verões quentes, geadas pouco frequentes e tendência de concentração das chuvas nos meses de verão, contudo sem estação seca definida; Clima temperado propriamente dito (Cfb) apresenta temperatura média no mês mais frio abaixo de 18°C, com verões frescos, temperatura média no mês mais quente abaixo de 22°C e sem estação seca definida.

A distribuição espacial dos totais anuais de precipitação no Estado revela que no sul de Santa Catarina ocorrem os menores valores de precipitação, enquanto que no oeste do estado ocorrem os maiores valores. A amplitude pluviométrica é de 1.154mm, diferença entre a estação de Xanxerê (2.373mm), no oeste, e a de Araranguá (1.219mm), no litoral (Santa

Catarina 1991). Em geral, a pluviosidade está bem distribuída no território catarinense devido às atuações do relevo, da Massa Polar Atlântica e da Massa Tropical Atlântica que por sua constância, fazem com que não ocorra uma estação chuvosa e uma estação seca, o que se tem é uma distribuição das chuvas durante todo o ano, caracterizando um regime de clima tropical (Santa Catarina 1991).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 CAMPO

O trabalho de campo foi realizado no sul de Santa Catarina para registro das unidades de vegetação, geomorfologia e amostragem de testemunho. O testemunho RP4 de 2 metros de comprimento foi obtido através do auxílio de um *Trado Russo* (Figura 04) cujas coordenadas geográficas são S 28°29'18'' e W 48°50'47.

Para a análise das características químicas (composição isotópica do C e N), físicas (granulometria) e do conteúdo polínico, as amostras foram retiradas do núcleo do testemunho a cada cinco centímetros, totalizando 42 amostras.

As características geobotânicas e geomorfológicas foram registradas por fotografias *in situ* e através de imagens de drone.

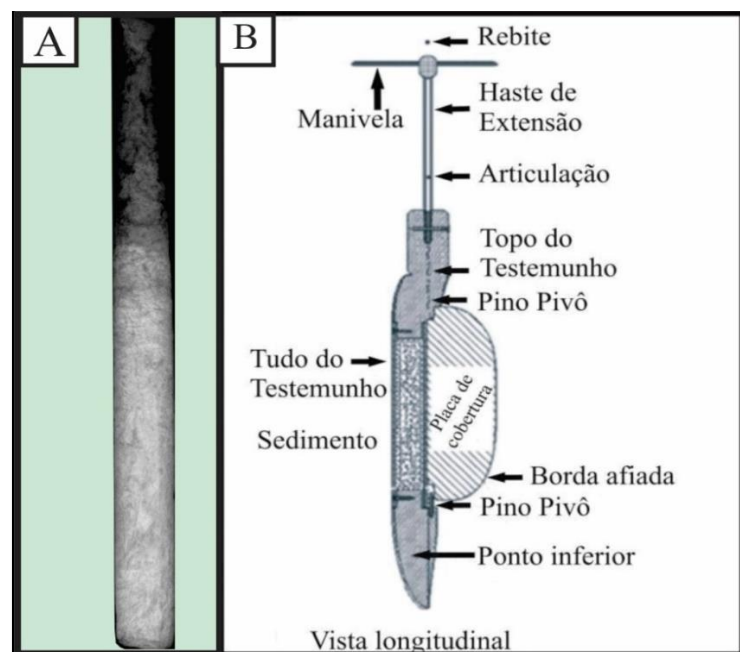


Figura 4- Porção superior do testemunho RP4 já radiografado (Fonte: Da autora), B- Amostrador *Russo* utilizado na coleta do testemunho RP4 (Fonte: Azevedo 2018).

3.2 ACONDICIONAMENTO DAS AMOSTRAS

Os sedimentos coletados foram armazenados em tubos e filme PVC, em seguida conduzidos a um freezer com temperatura em torno de 4°C, com o objetivo de evitar a proliferação de fungos e bactérias no material coletado, pois esses organismos podem mobilizar compostos de carbono dos sedimentos e trocar CO₂ com a atmosfera, provocando assim a contaminação das amostras com carbono recente e comprometendo futuras datações de ¹⁴C (Colinvaux *et al.* 1999).

3.3 DESCRIÇÕES DE FÁCIES E RADIOGRAFIA DO TESTEMUNHO

O testemunho RP4 possui 2 metros de comprimento e foi descrito a “olho nu” e através de radiografias (Figura 5), o que permitiu identificar melhor suas características sedimentares.

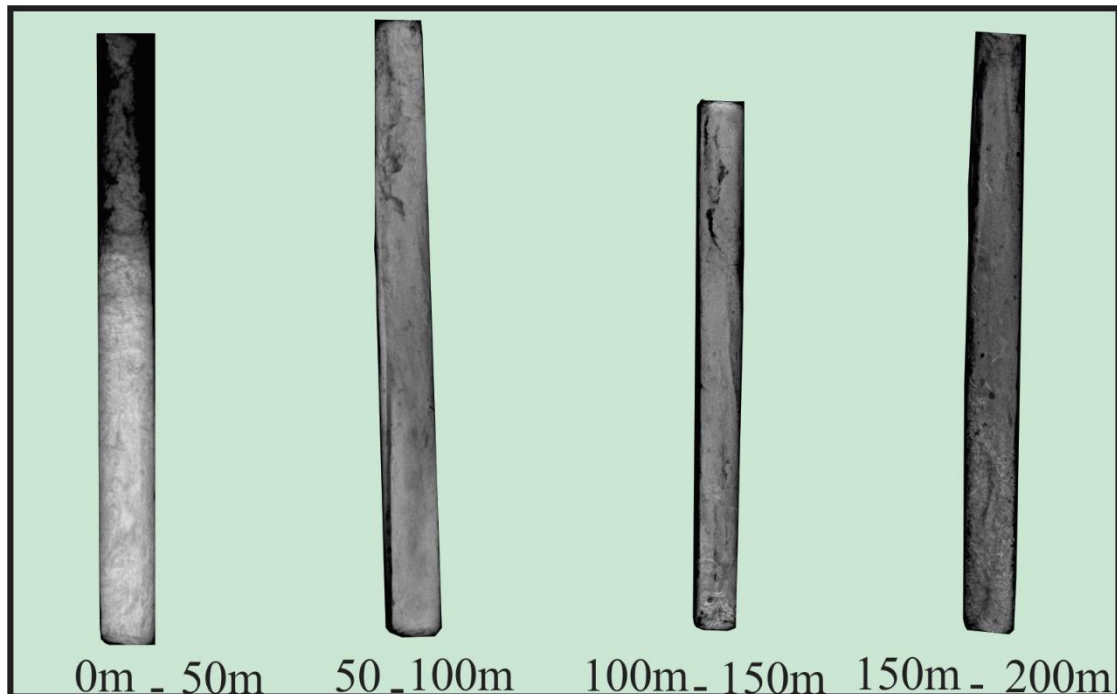


Figura 5- Imagens das radiografias do testemunho RP4 da base para o topo (da direita para a esquerda), notar a presença de conchas no segmento 150 a 200m. Fonte: Da autora.

3.4 ANÁLISES GRANULOMÉTRICAS DO SEDIMENTO

Os sedimentos amostrados foram lavados com água destilada/deionizada e H_2O_2 (peróxido de hidrogênio) para remoção da matéria orgânica. Em seguida, o material foi desagregado através de ultrassom e agitador mecânico. O tamanho dos grãos foi obtido por meio de um analisador de partículas à laser (Laser Diffraction, SALD 2101-Shimadzu). As classificações seguiram um diagrama triangular de Sheppard baseado nos percentuais de areia (2 - 0,0625 mm), silte (62,5-3,9 μm) e argila (<3,9 μm), definidos por Wentworth (1922).

3.5 DATAÇÃO POR CARBONO-14 (TÉCNICA AMS)

As amostras de sedimento foram fisicamente tratadas através de remoção de raízes e fragmentos vegetais com auxílio de uma lupa. O material residual foi quimicamente tratado com HCl a 2% na temperatura 60°C durante 4 horas. Logo após, as amostras foram lavadas

com água destilada até obter o pH neutro e secas (50°C), a fim de remover eventuais frações orgânicas mais jovens (ácidos fúlvicos e ácidos húmicos) e carbonatos. A matéria orgânica sedimentar foi datada no Laboratório de Radiocarbono da Universidade Federal Fluminense (LACUFF) e no centro de estudos Aplicados a Isótopos da Universidade da Geórgia (UGAMS) através de um Espectrômetro de massa acoplado a um Acelerador de partículas (AMS), que é utilizado para a datação de amostras com concentração inferior a 0,1g de carbono. As idades ^{14}C foram apresentadas em idade calibrada (cal. anos A.P.) ($\pm 2\sigma$), de acordo com Reimer *et al.* (2004).

3.6 PRÉ-TATAMENTO DAS AMOSTRAS PARA ANÁLISE $\delta^{13}\text{C}$, C e N TOTAL

As amostras de sedimento foram fisicamente tratadas através da remoção de raízes e fragmentos vegetais com uso de uma lupa, em seguida o material foi quimicamente tratado com HCl a 0,01M à temperatura ambiente para a remoção de carbonatos durante 24 horas. Após a decantação do material, o líquido residual foi descartado e as amostras de sedimentos foram levadas à estufa a uma temperatura de 50°C para eliminação da água presente no material. Posteriormente o material foi pulverizado com o uso de um almofariz de porcelana e armazenado em tubos plásticos. Esses procedimentos foram realizados no laboratório de oceanografia do Instituto Federal do Pará (IFPA).

Na sequência, esse material foi enviado ao Laboratório de Dinâmicas Costeiras (LADIC) onde cada amostra foi acondicionada em cápsulas de estanho (12 mm x 5 mm) e pesadas em uma balança analítica (Sartoriusn BP 211D, precisão 0,0001). Para amostras de nitrogênio ($\delta^{15}\text{N}$) utilizou-se cerca de 70mg e para a obtenção de $\delta^{13}\text{C}$ utilizou-se 20-30mg. O material foi enviado ao Laboratório de Isótopos Estáveis (CENA/USP) para obter os valores de $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$ C e N total. Neste laboratório as amostras foram analisadas em um Espectrômetro de Massas ANCA SL 2020, da Europe Scientific, que possui um analisador elementar acoplado.

3.7 MÉTODOS PALINOLÓGICOS

3.7.1 Processamento das amostras

As amostras retiradas para análise palinológica podem apresentar uma grande concentração de matéria orgânica, areia, silte e argila, por isso, nesta etapa da análise, todo material excedente deverá ser descartado até que o resultado final seja somente o pólen. Isso

só é possível devido à resistência apresentada ao processo químico pela parede celular dos palinófitos.

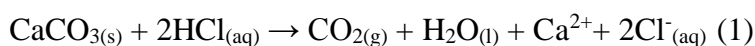
Contudo, devido algumas partículas orgânicas e inorgânicas serem quimicamente muito similares ao pólen, esses ataques químicos não produzirão um material constituído somente de pólen. Assim, foi retirado 1 cm³ de sedimento com a utilização de um medidor de volume feito de aço inoxidável onde o material foi colocado dentro da cavidade cilíndrica e depois retirado por um êmbolo produzindo assim pastilhas de sedimentos. Essa etapa foi repetida ao longo de todo o testemunho em intervalos de 5 cm.

Segundo o método de Colinvaux *et al.* 1999 as pastilhas de sedimentos retiradas do testemunho foram colocadas em tubos de centrífuga, devidamente marcados com a estação e a profundidade na qual foi feita a retirada das mesmas. Esses tubos são obrigatoriamente de polipropileno que é insolúvel ao ataque ácido. Foram adicionados tabletes de marcadores exóticos, esporos de *Lycopodium* junto às pastilhas de sedimentos (Stockmarr 1971), para o cálculo da concentração de pólen (grãos/cm³) e a razão da acumulação de pólen (grãos/cm²/ano). Na contagem final a razão de esporos marcadores de *Lycopodium* e de pólen contados permite o cálculo da concentração polínica original, em que cada tablete é constituído por 10.600 esporos de *Lycopodium*. Após o término da adição dos esporos foi realizado o tratamento ácido, sendo constituído das etapas descritas a seguir.

3.7.2 Tratamento com Ácido Clorídrico (HCl)

Esta etapa do tratamento consiste na remoção do carbonato (CO₃) presente no material sedimentar e dissolução da matriz carbonática da pastilha de *Lycopodium*, através da adição de HCl a 10%.

A reação que ocorre é a seguinte:



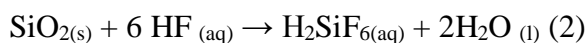
Este processo é seguido por mistura das amostras com a utilização de um bastão-misturador (feito de teflon) para cada tubo de ensaio, evitando assim a contaminação da amostra. Em seguida, o material foi conduzido à centrífuga onde permaneceu por 5 minutos a 2500 rotações para decantação.

O líquido residual foi retirado e o material lavado com água destilada até que o decantado fique claro. Novamente o material retornou à centrífuga com água destilada e em seguida, o líquido residual foi retirado dos tubos, para a segunda etapa do tratamento.

3.7.3 Tratamento com Ácido Fluorídrico (HF) concentrado

Uma grande quantidade de sílica pode provocar um sério problema no estágio de identificação pelo fato de provocar o obscurecimento dos grãos de pólen. Tendo em vista esse fato, foi adicionado HF a amostra, que ficou em repouso por 24h, com a capela de exaustão de gases ligada devido à alta toxicidade dos gases liberados por este ácido.

A reação que ocorre é a seguinte:



Após este período o material seguiu para lavagem, centrifugação, retirada do líquido residual, adição de HF e repouso por mais 24h, onde após este tempo foi realizada nova lavagem, centrifugação, retirada do líquido residual, e preparação para a terceira etapa do tratamento.

3.7.4 Tratamento com Ácido Acético Glacial (C₂H₄O₂)

A função do C₂H₄O₂ é reagir com a amostra retirando a água nela presente. Esta reação é essencial para que não ocorra desperdício de ácido sulfúrico através da reação com a água presente nas paredes do tubo de ensaio ou no sedimento umedecido.

Assim, foi adicionado C₂H₄O₂ à amostra, seguido de mistura, centrifugação, e retirada do líquido residual, não sendo necessária a permanência do ácido por um período de tempo maior que 15 minutos nos tubos de ensaio.

3.7.5 Tratamento com Acetólise

Nessa etapa do procedimento químico ocorre a remoção de celulose e polissacarídeos através de processos de oxidação. A substância atuante nesta etapa é a Acetólise 9:1 (9 partes de anidrido acético: 1 parte de ácido sulfúrico) (Hesse & Waha 1989). Cerca de 15 ml desta solução foi adicionada às amostras. Os tubos de ensaios foram submetidos a aquecimento em banho-maria, sendo constantemente misturados por um período que irá variar de 10 a 20

minutos até que o líquido contido nos tubos fique escuro. Após esse processo foi realizada a centrifugação, retirada do líquido residual e duas lavagens, sendo que permaneceu nos tubos cerca de 5 ml de água no intuito de facilitar a transferência das amostras dos tubos de ensaio para tubos de *Evergreen*.

3.8 MONTAGEM DE LÂMINAS PARA A MICROSCOPIA

Os materiais utilizados na montagem das lâminas para análise microscópica foram: lâminas, lamínulas glicerina, pipetas, bastões de teflon, e esmalte incolor. Com o auxílio de pipetas, algumas gotas do material armazenado nos tubos de *Evergreen* foram retiradas e colocadas nas lâminas previamente identificadas.

Em seguida, uma pequena quantidade de glicerina foi adicionada, bastões de teflon servirão para misturar o material amostrado com a glicerina, e em seguida as lamínulas foram assentadas sobre as lâminas. Esmalte incolor (o mesmo utilizado para unhas) foi utilizado para selar as margens da lamínula com a lâmina, com a finalidade de preservar o material contido da umidade do ar, a qual provocará o ressecamento da amostra. Esses procedimentos foram realizados no Laboratório de Dinâmica Costeira (LADIC).

3.9 ANÁLISE MICROSCÓPICA E CONFECÇÃO DE GRÁFICOS POLÍNICOS

A fase de identificação e contagem dos grãos de pólen das lâminas foi executada em um microscópio Carl Zeiss Axioskop 2 *plus* com câmera acoplada, o qual é conectado ao computador. E através do Software AxioVision as microimagens foram processadas, e os grãos de pólen catalogados e armazenados em um banco de dados.

Os dados da contagem dos grãos de pólen foram introduzidos em uma planilha de Excel com as devidas marcações de profundidade e classificação de grupos polínicos, que posteriormente facilitou a inserção dos dados no programa TiliaGraph, obtendo-se então os diagramas polínicos e as análises estatísticas (Grimm 1987). A descrição de 42 lâminas permitiu a identificação dos grupos polínicos presentes no testemunho, em que se destacam no grupo das ervas a ocorrência de Poaceae (Figura 6-A), seguidos dos grãos representantes do grupo das árvores e arbustos (Figura 6-B a F), mas também foram descritos tipos polínicos do grupo das palmeiras e plantas aquáticas.

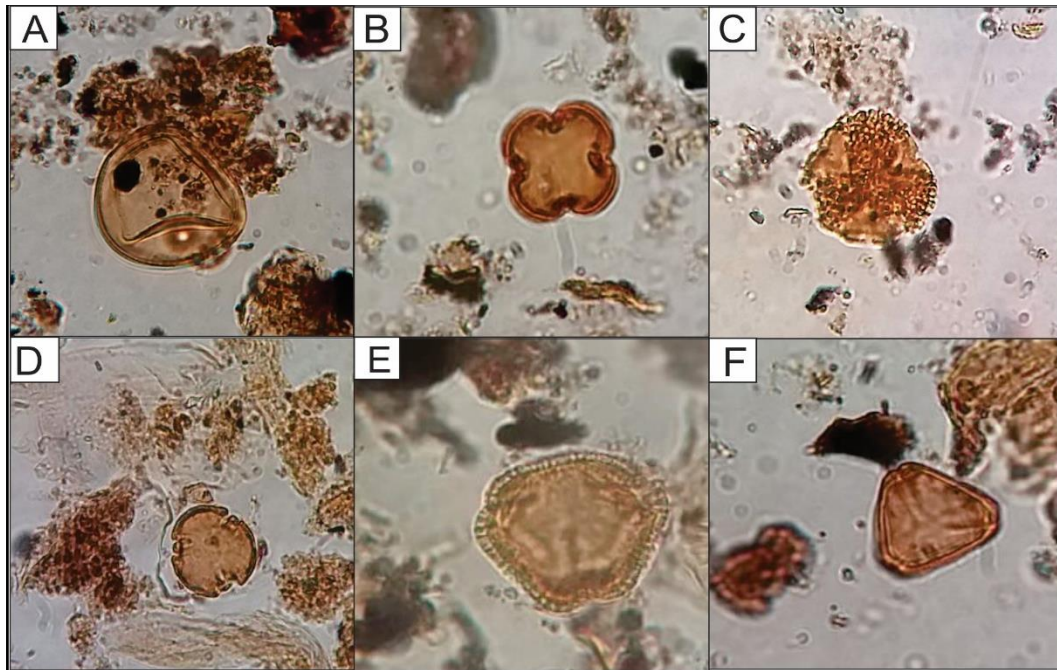


Figura 6- Exemplos dos tipos polínicos encontrados no testemunho RP4: (A) Pólen de Poaceae; (B) Mirsinaceae, (C) Ilex; (D) Alchornea; (E) Araliaceae e (F) Myrtaceae. Fonte: Da autora.

4 ESTADO ATUAL DO CONHECIMENTO

4.1 FERRAMENTAS UTILIZADAS EM ESTUDOS AMBINETAIS

4.1.1 Palinologia

A palinologia é uma ciência que estuda os palinofórmos (pólen de Angiospermas e Gimnospermas), esporos de pteridófitas e fungos, cistos de algas, dinoflagelados, foraminíferos, acritarcas, além de partículas de carvão, fósseis e atuais. Sua aplicação abrange vários campos do conhecimento, como a paleoecologia, bioestratigrafia, sistemática vegetal, arqueologia, entre outros (Salgado-Labouriau 1961).

Esses estudos aplicados a Paleoecologia se dão através de sedimentos depositados em camadas sucessivas, ao longo do tempo geológico, podendo então fazer comparações entre os palinofórmos fósseis e os táxons atuais, permitindo a reconstrução da vegetação do passado e conseqüentemente inferindo as variações climáticas ocorridas no período de deposição do sedimento (Salgado-Labouriau 1973, 1984, Pessenda *et al.* 2015).

Os grãos de pólen e esporos podem ser transportados a grandes distância pelo vento (chuva polínica) e muitas vezes não encontram a estrutura feminina de uma flor, sendo depositados no solo. Quando esses palinofórmos caem no solo ou em superfícies aquosas e através do transporte por escoamento superficial, encontram ambientes sem oxidação, como por exemplo, turfas, lagos e pântanos, podem ser preservados, acumulando-se com o passar do tempo em camadas sucessivas.

É através deste mecanismo que o grão de pólen e os esporos são preservados por milhares de anos, configurando um importante marcador das migrações e sucessões vegetais durante o período de deposição, contribuindo assim para estudos da reconstrução da flora e das mudanças no clima de determinada região (Salgado-Labouriau 1961, 1973).

4.1.2 Ciclos fotossintéticos C3, C4 E CAM

Todas as espécies vegetais realizam a fotossíntese, no entanto, estas se diferenciam quanto a maneira como absorvem o CO₂ presente na atmosfera. Na maioria das plantas o CO₂ atinge as células fotossintetizantes através da abertura de estruturas especiais chamadas estômatos, presentes nas folhas e caules verdes (Raven *et al.* 1996).

A fotossíntese ocorre em duas etapas: (1) etapa dependente de luz, quando a energia luminosa é absorvida por pigmentos fotossintetizantes tais como a clorofila, e então é convertida em energia química; (2) etapa não dependente de luz, quando a energia química da

etapa anterior é utilizada para redução do carbono e ligação deste a uma molécula orgânica (Raven *et al.* 1996).

A classificação das espécies de plantas do tipo C3, C4 E CAM são justificadas pela ocorrência de características fisiológicas e bioquímicas da etapa não dependente de luz. A diferença entre estes tipos de plantas refere-se principalmente às implicações ecológicas, na medida em que apresentam adaptações e condições ambientais distintas (Pessenda *et al.* 2015). Além disso, uma característica importante das plantas C3 e C4 aplicável ao trabalho em questão, refere-se a diferença na composições isotópicas de carbono presente na matéria-orgânica vegetal, que permitem distinguir quais das espécies tiveram maior desenvolvimento na área de estudo. Deste modo, essa ferramenta contribui para o entendimento da evolução paleoflorística da região (Pessenda *et al.* 2015).

4.1.3 Composição isotópica de carbono ($\delta^{13}\text{C}$)

Na natureza existem dois isótopos do C que são estáveis o ^{12}C e ^{13}C e cada um se encontra em suas devidas proporções. O ^{12}C é o mais leve e apresenta a maior proporção em relação ao total de C na natureza (98,89%), e o ^{13}C conta com apenas 1,11% do total. Essas proporções se mantêm relativamente estáveis em qualquer resíduo orgânico. No entanto, com o advento de espectrômetros de massas mais sensíveis, detectou-se que, quando o C passa de um estado físico-químico para outro, ocorre uma discriminação entre os dois isótopos, ou seja, um isótopo muda de estado preferencialmente, ou mais rapidamente, em relação ao outro. Isso faz com que ocorra uma variação na casa dos milhares na proporção $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$.

As análises da composição isotópica de C são feitas medindo-se a relação de $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ das amostras em relação a um padrão internacional, e o resultado é expresso em termos de diferença de $\delta^{13}\text{C}$ em relação ao padrão internacional obtido a partir de um molusco fóssil da formação Viena Pee Dee Belemnite (VPDB). A razão molar $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ do padrão VPDB é igual a 0,01124 (Farquhar *et al.* 1989). A composição isotópica das plantas em relação ao padrão PDB é determinada pela equação (3):

$$\delta^{13}\text{C}_{VPDB}(\%) = \frac{R_{AMOSTRA}-R_{VPDB}}{R_{VPDB}} \times 1.000 \quad (3)$$

Em que, δ da amostra indica o desvio da razão $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ da amostra ($R_{AMOSTRA}$) em relação ao padrão VPDB (R_{VPDB}).

As maiores diferenças na composição isotópica de C nos tecidos vegetais são observadas entre espécies que têm ciclo de carboxilação C3 e as que têm ciclo C4 (Alves *et al.* 2006) (Figura 7). Plantas de ciclo C3, como as dicotiledôneas, discriminam mais intensamente o ^{13}C e por isso apresentam variações na abundância isotópica de ^{13}C que variam de -20 a -34 deltas (em média -27 deltas). As plantas de ciclo C4 em sua maioria monocotiledôneas discriminam menos o ^{13}C e apresentam valores que variam de -9 a -17 deltas (em média -13 deltas). Em virtude dessa diferença média de 14 deltas, os ciclos fotossintéticos podem ser identificados com base na análise da variação da abundância isotópica de ^{13}C (Alves *et al.* 2006).

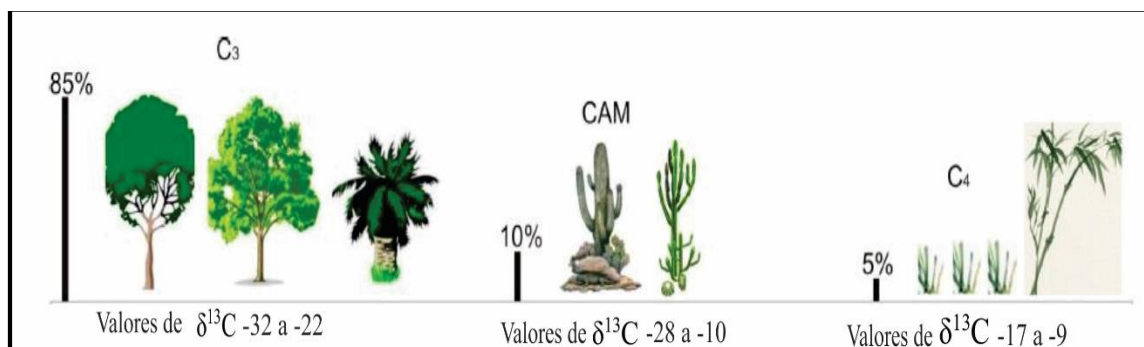


Figura 7- Composições isotópicas das plantas do ciclo fotossintético C3, C4 e CAM. Fonte: Modificado de França 2010.

4.1.5 Razões elementares de C/N

As razões elementares de C/N são bastante utilizadas em pesquisas paleoambientais, pois através dos componentes de C e N presente na matéria orgânica dos sedimentos é possível inferir as condições ambientais pretéritas (Meyers 2003). Uma importante utilização dos dados de C/N é para distinguir as duas principais origens da matéria orgânica presente nos sedimentos. A primeira tendo valores de C/N entre 4 e 10 é considerada de origem fitoplanctônica e a segunda com valores de C/N iguais ou maiores que 20 sendo considerada de origem terrestre vasculares (Meyers 1994).

A análise dos dados C/N comparados com os dados isotópicos de carbono $\delta^{13}\text{C}$ podem ser feitas através da plotagem desses dados em um diagrama binário (Figura 8), onde é possível distinguir a origem do material sedimentar (Meyers 2003).

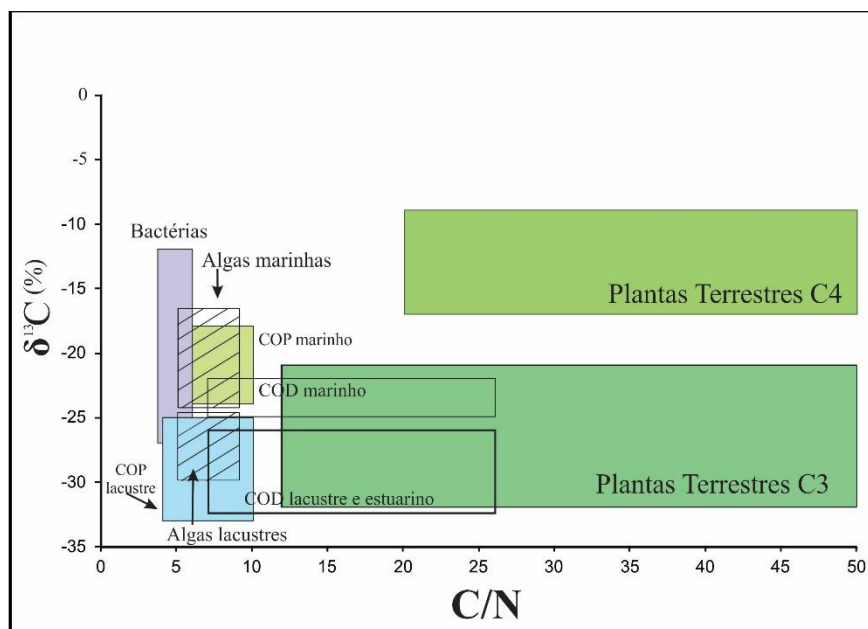


Figura 8- Diagrama binário (valores $\delta^{13}\text{C}$ e C/N) das fontes de matéria orgânica sedimentar terrestre e marinha. Fonte: Modificado de Lamb *et al.* 2006, Meyers 2003).

4.1.6 Datação ^{14}C

A datação por ^{14}C é utilizada para materiais como: madeira, carvão, conchas, sementes, folhas, turfas, húmus, carbonatos secundários (espeleotemas), água subterrânea. A meia-vida do ^{14}C é de 5.700 ± 30 anos, e por isso torna-se extremamente difícil medir a intensidade da radiação β emitida por materiais mais antigos do que cerca de 30.000 anos (Suguio 2010).

Na alta atmosfera ocorre a formação de nêutrons pela colisão dos raios cósmicos com os átomos de ar, que por sua vez combina-se com os átomos de ^{14}N para formar átomos de ^{14}C mais a liberação de um próton. Posteriormente os átomos de carbono ligam-se ao oxigênio do ar, dando com resultado o CO_2 , que se distribui pela atmosfera e hidrosfera. Os seres vivos por meio da troca de matéria por metabolismo adquirem o mesmo teor de C da natureza. Quando o organismo morre, ele para de absorver C e com o passar do tempo a quantidade deste elemento começa a diminuir por meio do decaimento radioativo. Portanto, ao medir-se o teor de ^{14}C residual por meio da intensidade dos raios β emitidos, pode-se calcular o tempo t decorrido após a morte do organismo (Suguio 2010).

4.1.7 Manguezais

Manguezal é uma zona úmida, definida como “ecossistema costeiro de transição entre os ambientes terrestres e marinhos, característico de regiões tropicais e subtropicais,

sujeito ao regime de marés” (Schaeffer-Novelli *et al.* 1995). Hoje, há uma grande preocupação sobre como os manguezais irão reagir às mudanças de temperatura, dióxido de carbono, chuvas, tempestades e elevação do nível do mar (McLeod & Salm 2006). Os manguezais representam apenas 0,7% da área total de florestas tropicais do mundo, apesar disso, esse ecossistema desempenha um importante papel no ciclo de carbono (Downing & Cataldo 1992, Kristensen *et al.* 2008, McLeod *et al.* 2011). É importante notar que este ecossistema representa 8% das áreas costeiras a nível global e um quarto da área costeira tropical (Spalding *et al.* 1997). A costa brasileira contém a segunda maior porção de mangue unitário do mundo, estimada em uma área total de 1,38 milhões de hectares ao longo de um litoral de aproximadamente 6800 km (Kjerfve & Lacerda 1993). No entanto, as distribuições globais de manguezais têm flutuado ao longo da história geológica e humana devido às mudanças climáticas e às oscilações do nível do mar (Cohen *et al.* 2012, Fromard *et al.* 2008).

Aproximadamente 85% dos manguezais brasileiros ocorrem ao longo de 1800 km da costa norte nos estados do Amapá, Pará e Maranhão, que em conjunto contêm 10.713 km² desse ecossistema (Schaeffer-Novelli *et al.* 1990, Vannucci 1999). A continuidade deste manguezal é interrompida pela área influenciada pela descarga do Rio Amazonas, onde a vegetação de várzea domina (Cohen *et al.* 2008). A distribuição atual do mangue no litoral norte brasileiro é controlada principalmente pela topografia do substrato e pela descarga de água doce (Cohen *et al.* 2005, Lara & Cohen, 2009).

Na costa sudeste e sul, os manguezais são restritos a baías de micro marés (marés abaixo de 2 m), lagoas ou estuários (Schaeffer-Novelli *et al.* 1990), fortemente controlados pelas características climáticas e oceanográficas (Soares *et al.* 2012). A dinâmica dos manguezais no sudeste do país está relacionada principalmente às mudanças do nível relativo do mar (Buso Junior 2010) e transporte de sedimentos (Amaral *et al.* 2006).

4.1.8 Mudanças no nível relativo do mar (NRM) e dinâmica dos manguezais durante o Holoceno

Estudos das variações do nível relativo do mar são importantes para se entender a dinâmica local e regional dos mecanismos que atuam sobre determinada porção da costa litorânea brasileira. A construção de curvas do nível relativo do mar (NRM) do final do Pleistoceno e Holoceno usando indicadores paleoclimáticos tem se mostrado como uma ferramenta essencial para o entendimento da história evolutiva de regiões costeiras durante o Quaternário (Angulo *et al.* 1999).

As evidências de antigos níveis marinhos podem ser obtidas através de informações sedimentológicas, biológicas e até mesmo a partir de dados pré-históricos (Suguio *et al.* 1985). As evidências sedimentológicas referem-se aos depósitos arenosos quaternários de origem marinhos depositados acima do nível de mar atual. As evidências biológicas ocorrem em grande parte da costa rochosa brasileira, sendo seus principais representantes as numerosas incrustações de vermetídeos (gasterópodes), conchas de ostras e tocas de ouriço do mar, que estão situados acima da atual zona de vida desses organismos (Suguio *et al.* 1985, Martin *et al.* 2003, Angulo *et al.* 2006).

Outra importante evidência do nível de mar pretérito ocorre em algumas regiões da costa brasileira, especialmente da costa do litoral catarinense, são os sambaquis que constituem acúmulos holocênicos de origem natural, com mistura de material de origem sedimentar, artefatos líticos e restos orgânicos. Sua posição na linha de costa infere uma extensão lagunar superior à atual, e conseqüentemente, um nível marinho superior aos dias atuais (Martin *et al.* 1984).

Na Ilha de Santa Catarina uma reconstituição mostrou que há cerca de 3.620 anos A.P o nível relativo do mar situava-se a aproximadamente 2,6 m acima do atual (Suguio 1985). Segundo Hurt (1974), o sambaqui de Carniça localizado ao sul de Laguna, demonstrou que há cerca de 3400 anos AP o nível relativo do mar era superior ao atual e sofria um processo de descida. Segundo o mesmo autor, em aproximadamente 3000 anos AP o sítio pode ter sido abandonado, o que foi interpretado como resultado de um rebaixamento mais acentuado do nível do mar. Com uma posterior subida do nível relativo do mar, o sambaqui mostrou-se erodido em sua porção mais externa e nas suas camadas sedimentares basais.

As curvas de nível de mar proposta para o litoral brasileiro despertam algumas discussões entre os pesquisadores sobre a altura dos paleoníveis em alguns setores da costa. Segundo Angulo *et al.* (1999) a elevação do nível do mar obtidas através de amostras datadas entre a região de Laguna-Imbituba é menor do que em outros setores estudados. Porém, o autor considera que há uma correlação entre o nível de mar máximo (aproximadamente 5.100 anos A.P) no litoral do estado de Santa Catarina e os setores da costa dos estados da Bahia, Rio de Janeiro e São Paulo (Martin & Suguio 1978, Suguio *et al.* 1985).

Estudos realizados através da sucessão sedimentar no paleo-estuário do Delta do Rio Doce, no sudeste do Brasil registraram a instalação de um sistema estuarino, com a presença de manguezais durante o Holoceno inicial como resultado do aumento do nível do mar e da relativamente baixa taxa de suprimento fluvial, sendo este período considerado mais seco. Em seguida, durante o Holoceno tardio, o aumento da descarga fluvial associada à diminuição no

nível relativo do mar causou uma regressão marinha e retração dos manguezais (França *et al.* 2015).

Na região Amazônica estudos mostraram que a vegetação de manguezal ocorreu sobre as planícies de maré lamosa com influência marinha entre 5.610-5.470 e 470-310 cal anos A.P e que depois deste último período foi registrado ausência de manguezais. Uma provável hipótese para o deslocamento das florestas de manguezais para superfícies mais baixas ocorreu pela diminuição no nível relativo do mar que pode estar associado a condições de clima mais seco com menos chuva durante os últimos 500 anos (Cohen *et al.* 2015).

4.1.9 Mudanças climáticas durante o Holoceno

Estudos de reconstruções paleoambientais tem utilizado ferramentas como a análise de grãos de pólen e esporos preservados nos sedimentos, interpretações geomorfológicas, análise isotópicas do conteúdo de carbono e nitrogênio presente na matéria orgânica sedimentar e datações ^{14}C (Behlin *et al.* 1995, Cohen *et al.* 2012, França *et al.* 2015, Fontes *et al.* 2017, Ledru 1991, Pessenda *et al.* 2015) para avaliar o comportamento da vegetação e do clima desde o início do Quaternário até o Holoceno.

Pesquisas sobre o clima no Brasil central e em Santa Catarina concluíram que durante o Pleistoceno tardio as condições climáticas podem ser descritas como frias e relativamente mais secas, relatando-se também que houve dentro de um pequeno intervalo de tempo (11.000-10.000 anos A.P) o desaparecimento das florestas de Araucária, ambas as condições foram atribuídas ao evento de Younger Drays (Behling *et al.* 1995, Ledru 1991).

Estudos palinológicos realizados no estado de Santa Catarina concluíram que durante o Holoceno ocorreram mudanças de um clima quente e seco (10.000 ~ 3000 A.P) para um regime mais frio e húmido (3000-1000 A.P) e finalmente a um período frio e muito úmido por volta de 1000 A.P (Behling *et al.* 1995).

4.1.9 Mudanças climáticas no Antropoceno

O início da Revolução Industrial (final do Século XVIII), quando as atividades humanas começaram a ter um impacto global significativo no clima da Terra e no funcionamento dos seus ecossistemas, é tido por muitos cientistas como o início do Antropoceno (Steffen *et al.* 2011). Preocupações da comunidade científica em torno de tais alterações no clima fez com que em 1988 o Programa das Nações Unidas para o Ambiente (UNEP) e a Organização Meteorológica Mundial (OMM) estabelecesse o Painel

Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC) reunindo membros de 195 países para analisar e avaliar informações científicas sobre mudanças climáticas. Segundo o IPCC e seus relatórios climáticos, a temperatura do planeta tem aumentado de forma acentuada desde a década de 1960. A principal causa deste aumento seria provocado pelos gases do efeito estufa produzido por ações antropogênicas.

Por outro lado, há cientistas que acreditam que somente as contribuições antropogênicas não são capazes de alterar o clima na escala global, e sim em uma escala do microclima. Segundo Conti (2005) algumas das críticas aos relatórios do IPCC está na negligência de outros fatores que poderiam contribuir para o aumento da temperatura global, como o vapor de água, a diminuição do albedo planetário e a baixa atividade vulcânica.

As informações sobre mudanças climáticas no Brasil nos últimos anos são fruto de estudos do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), bem como de iniciativas nacionais e cooperação internacional como a do projeto realizado pelo Centro de Sistemas Terrestre (CST) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e o Met Office Hadley Centre (MOHC) do Reino Unido.

Pesquisas no norte do país, mais especificamente na região Amazônica tem evidenciado a importância do papel da floresta Amazônica no clima da América do Sul. Por seu efeito no ciclo hidrológico regional, a floresta atua como um regulador de umidade na bacia Amazônica, que por sua vez contribui para a dispersão de umidade para outras partes do continente, além de favorecer a formação de precipitação em regiões distantes da Amazônia (Marengo *et al.* 2004).

Os relatórios do IPCC (2013, 2014) e os resultados das pesquisas do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas (PBMC) afirmam que é muito provável que ocorra um aumento da temperatura em toda a América do Sul, com uma projeção de maior aquecimento para o sul da Amazônia. A Amazônia e o Nordeste do Brasil são consideradas as áreas mais vulneráveis podendo experimentar um aquecimento médio de 5°C em 2100 (Marengo 2014).

As projeções para todo o Brasil indicam um aumento da temperatura e de extremos de calor. Nos estados do Sudeste, Sul e Centro-Oeste houve redução na frequência de geadas devido ao aumento da temperatura mínima. O aumento de extremos de chuva foi registrado nas regiões Sudeste e Sul. No leste da Amazônia e no Nordeste constatou-se um aumento na frequência e intensidade de dias secos consecutivos (Marengo 2014).

Projeções para o nordeste do Brasil indicam uma tendência de aumento na temperatura até o final deste século, com cenários otimistas $\sim 1,3^{\circ}\text{C}$ ($0,4 - 1,9^{\circ}\text{C}$) até os mais pessimistas revelando aumentos de $\sim 4,4^{\circ}\text{C}$ ($2,7 - 6,2^{\circ}\text{C}$). Segundo a OMM no ano de 2013 o

Sudeste do Brasil registrou temperaturas de 1°C a 2°C superior à média entre os anos 1961 e 1990.

5 RESULTADOS

5.1 IDADES E TAXAS DE SEDIMENTAÇÃO DO TESTEMUNHO RP4

No testemunho RP4 foram realizadas três datações com os seguintes resultados: 8.974- 9.128 anos cal AP, 312 - 455 anos cal AP e 1956 A.D nas profundidades de 170 cm, 65 cm e 30 cm, respectivamente (Tabela 1). As taxas de sedimentação estimadas foram de 0,12; 0,75 e 5,7mm/ano para os intervalos de 170-65, 65-30 e 30-0, respectivamente.

Tabela 1- Profundidade, material e idades ^{14}C para o testemunho RP4. Fonte: Da autora.

Amostra e Profundidade (cm)	Material Analisado	Idades (^{14}C Cal anos AP 2σ)	Média das idades (anos Cal AP)
RP4 (30-35)	Matéria Orgânica	1956 A.D	—
RP4 (60-65)	Matéria Orgânica	312-455	385
RP4 (170-175)	Matéria Orgânica	8.974-9.128	9.050

5.2 ASSOCIAÇÃO DE FÁCIES E CONTEÚDO POLÍNICO

O testemunho foi coletado em uma planície de maré lamosa ocupada por manguezal, distante 200 m de um canal de acesso à Laguna de Santo Antônio, a sudoeste da cidade de Laguna. A análise do testemunho permitiu determinar o tamanho das partículas e feições sedimentares, assim como o conteúdo polínico e variações biogeoquímicas ($\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$ e C/N). A integração desses dados apoiou a classificação de três associações de fácies (Tabela 2): planície fluvial herbácea, canal fluvial e planície de maré com *Spartina*.

Tabela 2- Fácies e associação de fácies do testemunho RP4. Fonte: Da autora.

FÁCIES	DESCRIÇÃO	PÓLEN	DADOS GEOQUÍMICOS	PROCESSOS	ASSOC. FÁCIES
Lama Maciça (Mm) e Acamamento Heterolítico Lenticular (Hl)	Depósito que ocorre na porção superior do testemunho contendo fragmentos de raízes.	Ervas, Árvores e arbustos.	$\delta^{13}\text{C} = -22$ a - 15‰ $\delta^{15}\text{N} = 1$ a ~5‰ C/N= ~2 a 44	Deposição por suspensão em condições de baixa energia.	PLANÍCIE DE MARÉ COM SPARTINA
Areia com estratificação cruzada (Sc) e Areia maciça (Sm)	Depósito arenoso contendo predominantemente estratificação cruzada.	Ervas, Árvores e arbustos.	$\delta^{13}\text{C} = -21$ a - 22‰ $\delta^{15}\text{N} = 4$ a 6‰ C/N=12 a 21	Migração de formas de leito sobre fluxo unidirecional e regime inferior.	CANAL FLUVIAL
Lama maciça (Mm) e Acamamento Heterolítico <i>Flaser</i> (Hf)	Apresentando coloração cinza castanhado com a presença de conchas e tubos bentônicos.	Ervas, Árvores e arbustos, palmeiras.	$\delta^{13}\text{C} = -21$ a - 23‰ $\delta^{15}\text{N} = 3$ a 9‰ C/N= 8 a 28	Deposição por suspensão em condições de baixa energia.	PLANÍCIE FLUVIAL HERBÁCEA

5.2.1 Associação de fácies Planície Fluvial Herbácea

Nessa associação de fácies foram identificadas duas fácies sedimentares que incluem: Lama Maciça (Mm) e Acamamento Heterolítico *Flaser* (Hf). A fácies Lama Maciça

ocorre entre o intervalo de 200 a 100 cm e corresponde a porção basal do testemunho RP4. Apresenta fragmentos de conchas e tubos bentônicos distribuídos ao longo de sua camada silto-arenosa. A quantidade de areia nesta associação de fácies variou de 2 a 50%, enquanto que de silte está em torno de 15 a 80% e o conteúdo de argila variou entre 5 a 30% (Figura 9). A fácies Acamamento Heterolítico *Flaser* (Hf) ocorre no intervalo de transição entre a fácies Lama Maciça (Mm) e Areia Maciça (Sm), abrangendo apenas 10 cm de espessura, em que foi possível notar pequenas lâminas de lama.

Quanto ao conteúdo polínico na associação de fácies Planície Fluvial Herbácea foram identificados em ordem de abundância ervas (90-25%), árvores e arbustos (20-60%), seguidos do grupo das palmeiras (0-20%) e com menor expressividade ocorrem plantas aquáticas (0-8%). Também foi identificado um grande número de esporos (10-75%). Deve ser destacado que ao longo dessa associação de fácies não foram identificados grãos de pólen indicadores da presença de manguezal (Figura 10).

As ervas são representadas principalmente por Poaceae (5-85%), Cyperaceae (0-15%), Asteraceae (0-20%). Dentre os representantes arbóreos predominam: Euphorbiaceae (0-40%), Myrsinaceae (0-25%), Myrtaceae (0-20%), Sapindaceae (0-20%) e Fabaceae (0-10%), seguido de Cannabaceae (Trema), Araucariaceae, Cunoniaceae, Moraceae, Podocarpus e Mimosa variando de 0-10%. Anacardiaceae, Melastomataceae/Combretaceae, Salicaceae, Solanaceae, Anonaceae, Cletracae e Piperaceae oscilaram entre 0 e 5 %.

O grupo das palmeiras é representado por grãos de pólen da família Arecaceae, que apresentaram valores entre 0-20% e as plantas aquáticas foram representadas por Alismataceae (0-8%). Os esporos estão representados por Polypodiaceae e pelos seguintes táxons representados pelas seguintes morfologias: trilete psilado, trilete verrugado, monolete psilado e monolete verrugado.

Quanto aos dados isotópicos, os valores $\delta^{13}\text{C}$ variaram de -21 a -23‰, havendo um enriquecimento de $\delta^{13}\text{C}$ em direção ao topo do testemunho (Figura 11). Os valores de $\delta^{15}\text{N}$ oscilaram entre 3 a 9 ‰, havendo um empobrecimento em direção ao topo do perfil. O C/N da matéria orgânica sedimentar variou de 8 a 28 com uma média de valores na faixa de 16.

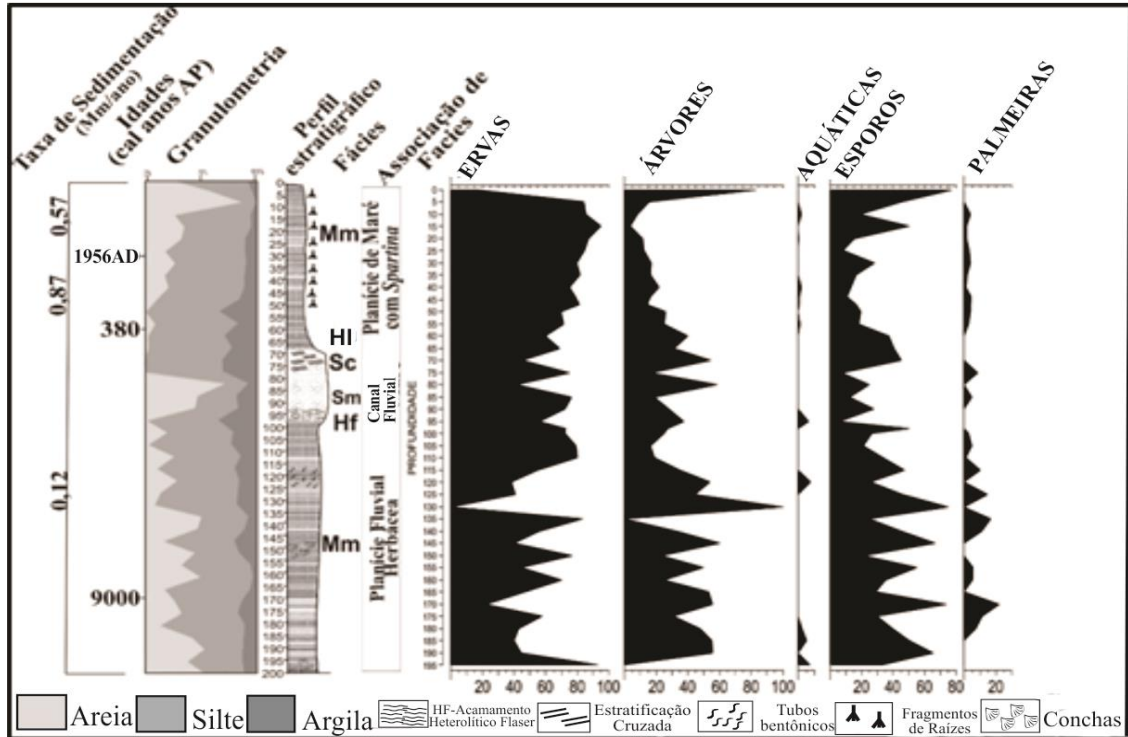


Figura 9- Perfil estratigráfico, associações de fácies e diagrama polínico do testemunho RP4. Fonte: Da autora.

5.2.2 Associação de fácies Canal Fluvial

Essa associação de fácies corresponde aos sedimentos depositados entre 100 e 70 cm de profundidade e compreende a fácies Areia com Estratificação Cruzada (Sc) e Areia Maciça (Sm). É representada por uma camada de areia de coloração cinza escuro apresentando estratificação cruzada migrando para uma camada de areia maciça (Figura 9). Quanto ao conteúdo polínico, há o predomínio de grãos de pólen de ervas variando entre 45 a 78%, seguido do grupo das árvores e arbustos de 20 a 60%, em quantidades menores ocorre o grupo das palmeiras, que são representadas pela família da Arecaceae com valores entre 0-8% (Figura 10).

As famílias representantes do grupo das ervas são principalmente Poaceae 20%-70%, Asteraceae 5-15% e Cyperaceae 0-12%. Em menor número ocorrem Amaranthaceae, Piperaceae, Solanaceae, Loranthaceae e Bromeliaceae com uma variação de 0-8%. Árvores e arbustos são representados por Sapindaceae 0-30%, Myrtaceae de 0-10%, Myrsinaceae 0-8%, Araliaceae 0-8%, Euphorbiaceae 0-7% (Figura 10). As famílias da Fabaceae, Anonaceae, Trema, Clethraceae, Melastomataceae/Combretaceae, Mimosa e Burseraceae apresentam percentuais entre 0-5%. Os esporos foram representados pela Polypodiaceae, sendo que além destes ocorrem as seguintes morfologias: monolete, trilete psilado, trilete verrugado,

polypodiaceae. Quanto aos dados isotópicos, os valores de $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ oscilaram de -21 a -22‰, e de 4 a 6‰, respectivamente. A razão C/N exibiu valores entre 12 e 21 (Figura 11).

5.2.3 Associação de fácies Planície de Maré com *Spartina*

Essa associação de fácies ocorre na porção superior do testemunho correspondendo ao intervalo entre 70 e 0 cm, em que a quantidade de areia oscilou de 5 a 70%, de silte de 20 a 80% e argila de 5 a 30, havendo um predomínio da fração siltosa. As fácies sedimentares que compõem essa associação são: Lama Maciça (Mm) e Acamamento Heterolítico Lenticular (HI). Na fácies Lama Maciça os sedimentos apresentam coloração preto acastanhado com predomínio de fragmentos de raízes e ocorrem dos 50 cm até a superfície (0 cm). A fácies Acamamento Heterolítico Lenticular (HI) ocorre na transição da associação de fácies Canal Fluvial e Planície de Maré com *Spartina* (Figura 9).

Quanto ao conteúdo polínico, verificou-se um predomínio de grãos de pólen de ervas variando de 60%- 95%, seguido do grupo das árvores e arbustos, oscilando de 5%-30% e em menores proporções ocorrem os grãos de pólen das palmeiras (0-5%) e plantas aquáticas (0-2%). Nesta associação o número de esporos variou de 10-50%. As ervas são representadas principalmente por Poaceae 40-90%, seguidos de Amarantaceae, Piperaceae e Cyperaceae variando de 0 a 10% e menores quantidades ocorrem de Araceae, Asteraceae, Solanaceae e Apocynaceae oscilando entre 0-5%. Os representantes do grupo das árvores e arbustos são: Myrsinaceae (2-20%), Anacardiaceae (0-15%), Myrtaceae, Euphorbiaceae, Fabaceae, Anonaceae e Moraceae que oscilaram entre 0-10%, seguido de Sapindaceae, Meliaceae, Mimosa, Araucariaceae, Araliaceae, Cunoniaceae, Melastomataceae/Combretaceae, Meliaceae e Araliaceae Cannabaceae (Trema) que oscilaram entre 0 e 5 %. No grupo das plantas aquáticas ocorrem Alismataceae e Thyphaceae (0-3%) e como representante das palmeiras ocorre a Arecaceae (0-5%) (Figura 10).

Quanto aos dados isotópicos, nessa associação de fácies foi possível identificar um enriquecimento dos valores de $\delta^{13}\text{C}$ em relação à base do testemunho. Ao longo dessa associação de fácies o $\delta^{13}\text{C}$ oscilou entre -22 e -15‰, os valores da razão C/N variaram de 2 a 44. O $\delta^{15}\text{N}$ apresentando valores entre 1 a 5‰ (Figura 11).

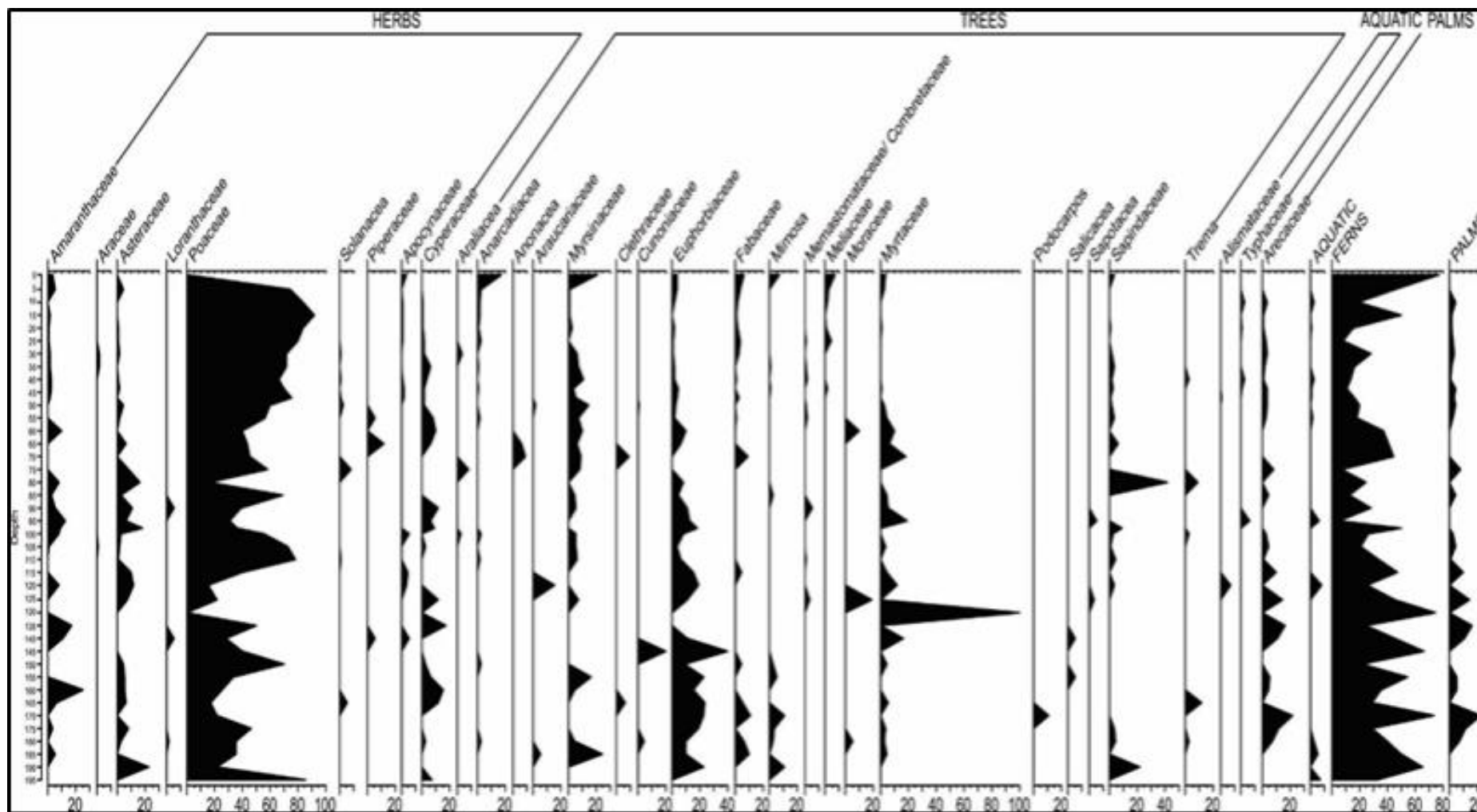


Figura 10- Conteúdo polínico do testemunho RP4 com divisão das famílias dos grupos ecológicos: Herbs (ervas), Árvores (Trees), Aquatic(Plantas Aquáticas), Palms (Palmeiras) e Ferns (Esporos). Fonte: Da autora.

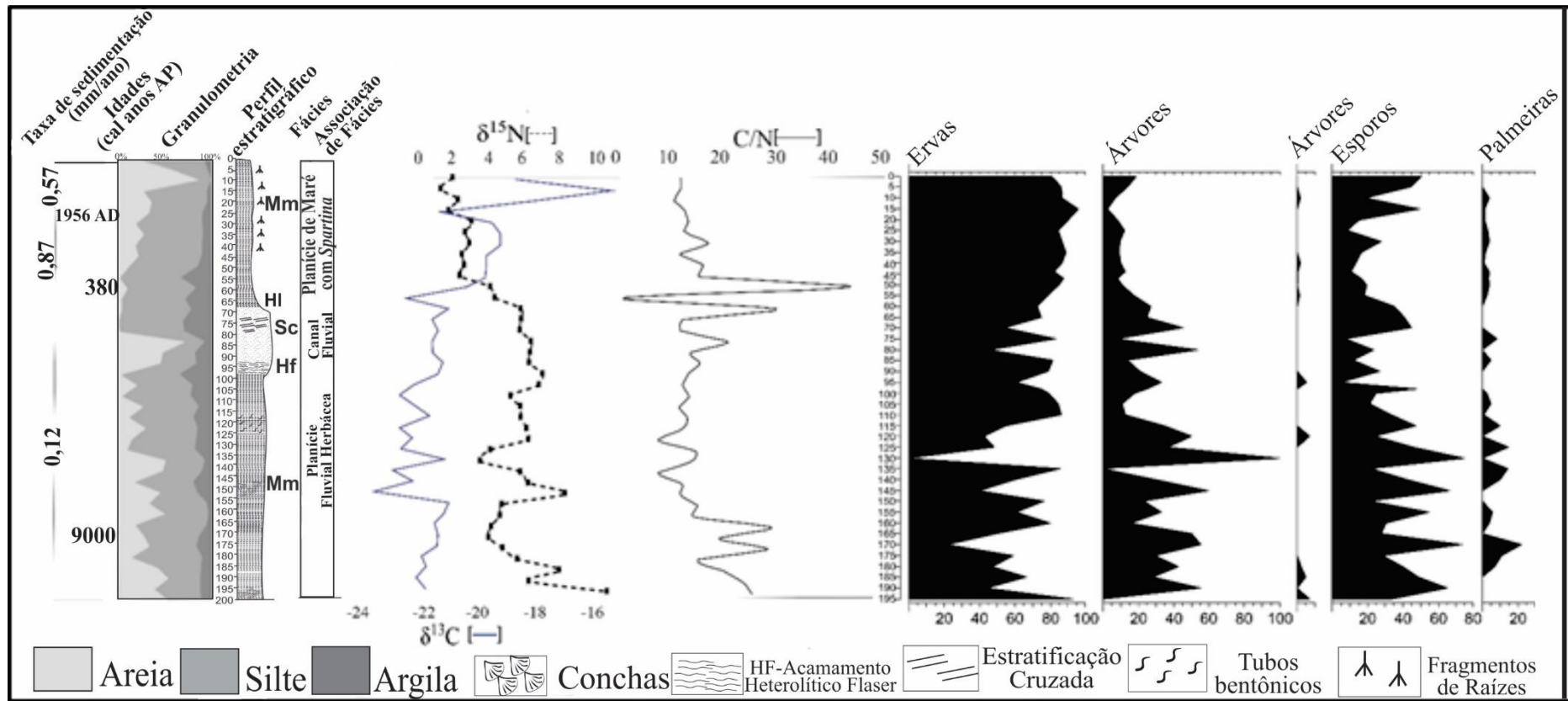


Figura 11- Perfil estratigráfico, divisão de fácies, dados isotópicos ($\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$), razões elementares de C/N e grupos polínicos do testemunho RP4.

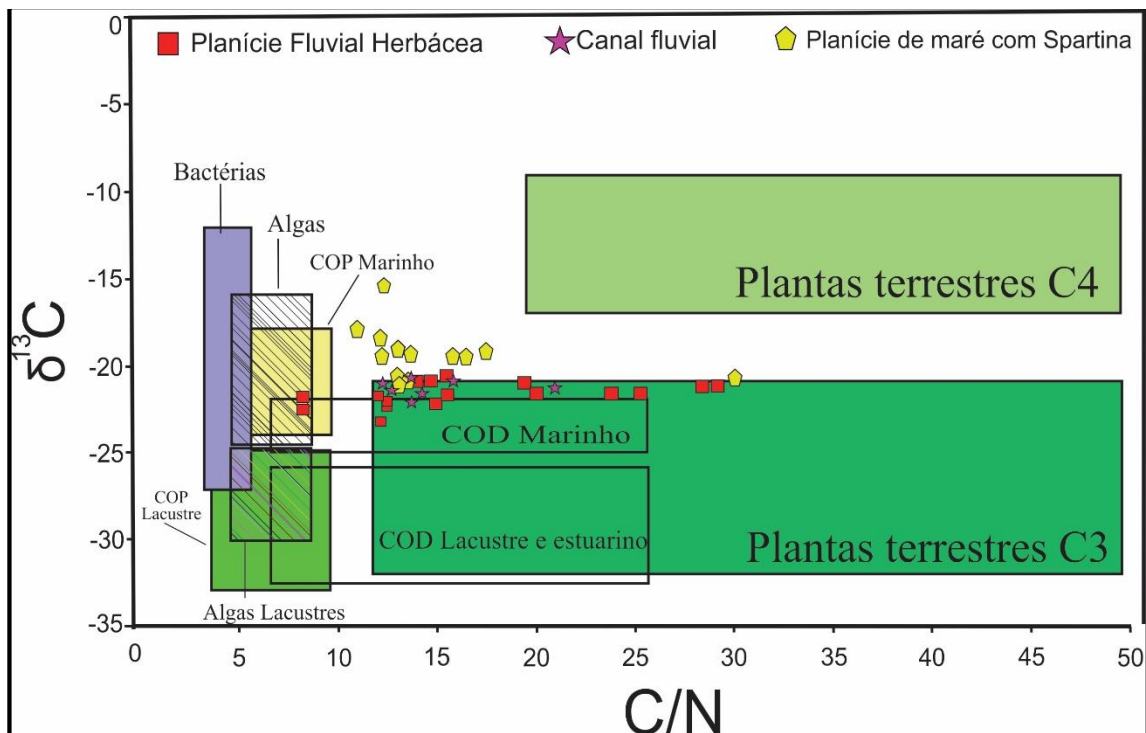
6 INTERPRETAÇÃO E DISCUSSÃO

A integração dos dados sedimentares, polínicos, isotópicos ($\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$), elementares (C/N) e datações ^{14}C permitiram a reconstituição da paleoflora e o ambiente sedimentar da área de estudo. Os depósitos de Lama Maciça apresentam em sua base uma forte contribuição de matéria orgânica sedimentar de plantas terrestres do ciclo fotossintético C3 por volta de 9000 anos cal A.P. A tendência de aumento de ervas, o enriquecimento do $\delta^{13}\text{C}$ e diminuição do C/N da base para o topo do testemunho analisado sugere a instalação de uma planície de inundação fluvial dominada por ervas e uma forte contribuição polínica de árvores e arbustos durante o acúmulo dos sedimentos posicionados entre 200 e 65 cm. O topo (65-0 cm, últimos 380 anos cal A.P.) desse depósito sedimentar apresenta um amplo domínio de ervas com contribuição de matéria orgânica sedimentar de origem estuarina que pode ser explicada através de um gradual aumento no nível relativo do mar na área de estudo durante pelo menos os últimos 400 anos.

Deve ser ressaltado que os dados de $\delta^{15}\text{N}$ da matéria orgânica sedimentar mostraram um empobrecimento da base (4 a 10%) para o topo (1 a 4%). Esses dados sugerem que durante o Holoceno houve uma mistura de matéria orgânica de origem terrestre e aquática no local de estudo, porém com uma tendência de aumento na matéria orgânica de origem terrestre. Valores de $\delta^{15}\text{N}$ elevados na base do testemunho também podem ser explicados através da denitrificação da matéria orgânica que favorece a perda do ^{14}N para a atmosfera. Esse processo ocorre preferencialmente em ambientes anaeróbicos (Xu et al., 2010). O diagrama binário ($\delta^{13}\text{C}$ e C/N) indica que a origem da matéria orgânica sedimentar da associação de fácies Planície Fluvial Herbácea fortemente contrasta com a origem da matéria orgânica da fácies Planície de Maré com *Spartina*, pois a primeira recebeu uma forte contribuição de matéria orgânica sedimentar de origem de plantas terrestres do ciclo fotossintéticos C3 (Figura 12). Provavelmente, tal contribuição está associada à vegetação arbórea dos terrenos mais elevados e eventualmente do retrabalhamento de depósitos sedimentares à montante do rio. A origem da matéria orgânica sedimentar presente na fácies Planície de Maré com *Spartina* deve estar principalmente relacionada com algas estuarinas.

Durante a fase de nível de mar baixo do Holoceno inicial, os mecanismos que controlam a formação e manutenção de ilhas barreiras e lagunas foram menos atuantes. A rede de drenagem estava ativa sobre a plataforma continental, que se encontrava até aquele momento, emersa e atuando como o principal mecanismo de transporte e acúmulo de sedimentos. A partir do Holoceno médio até o recente, a ação das ondas e correntes litorâneas

foram mais atuantes na região de estudo e favoreceram principalmente a formação e manutenção de ilhas barreiras e lagunas. Tais ambientes podem estar associados às planícies costeiras. A associação de fácies Planície de Maré com *Spartina* (70 - 0 cm) apresenta predomínio de lama, característica de ambientes deposicionais de baixa energia. Esses depósitos são típicos de ambientes onde os sedimentos mais finos são depositados por suspensão, como em lagunas e planícies de maré lamosas nas margens dos estuários ocupados por manguezais e pântanos salgados.



Tal sequência de eventos deve estar relacionada a um aumento do nível relativo do mar durante o Holoceno (Angulo & Lessa 1997, Martin *et al.* 2003, Nagaia 2009, Suguio *et al.* 1985), onde a associação de fácies planície fluvial herbácea e canal fluvial foram formados durante o nível de mar baixo do Holoceno inicial. Durante o nível de mar baixo do Holoceno inicial, as áreas que hoje constituem as lagunas e baías faziam parte do continente interior e encontravam-se emersas sob eventual influência fluvial. Provavelmente, a subida do nível do mar afogou baixos cursos fluviais e favoreceu a formação de ilhas barreiras que mais tarde isolaram os novos sistemas lagunares que são bem representados em toda costa do estado de Santa Catarina, especialmente na área de estudo.

O local de amostragem do testemunho RP4 apresenta hoje uma ampla área de manguezal representada por árvores de *Avicennia* e *Laguncularia* com estatura entre 10-15

metros. Como mencionado anteriormente, ao longo do testemunho analisado não foi identificada a presença de qualquer pólen representante das atuais florestas de manguezais do litoral de Santa Catarina. Fato que pode estar associado a uma eventual perda de material do topo do testemunho onde poderiam estar os grãos de pólen das árvores de manguezal que habitam o local de estudo. Do ponto de vista físico-químico e hidrodinâmico as condições ambientais foram favoráveis para o estabelecimento e expansão dos manguezais durante pelo menos os últimos 400 anos, quando houve forte contribuição de matéria orgânica de origem estuarina no local de estudo. Entretanto, hoje esse ecossistema ocorre na área de estudo nas margens da Laguna de Santo Antônio na forma de grupos monoespecíficos de *Laguncularia* com ocorrência isolada de árvores de *Avicennia*.

Estudos realizados em depósitos arenosos da Laguna de Santo Antônio constataram a presença de grãos de pólen de manguezal (*Laguncularia* e *Avicennia*) somente nos últimos 50 anos (Soares 2018). A provável explicação para o estabelecimento dos manguezais na Laguna de Santo Antônio somente nas últimas décadas deve estar relacionada ao aumento das temperaturas mínimas de inverno na região de estudo (Marengo & Camargo 2008).

6.1 PALEONÍVEIS MARINHOS NA COSTA DE SANTA CATARINA

Alguns trabalhos realizados no litoral sul e sudeste do Brasil indicam que o nível do mar estaria subindo desde o Holoceno inicial até atingir seu máximo (3 – 5 m) em aproximadamente 5.100 cal. anos AP (Angulo *et al* 2006, Martin *et al.* 1996, Suguio *et al.* 2015). Provavelmente, a descida do nível relativo do mar foi contínua desde o Holoceno médio (Angulo & Lessa 1997), porém, alguns trabalhos sugerem duas oscilações de alta frequência durante aquele período (Martin 2003). Segundo Angulo *et al.* (1999), na região de Laguna-Imbituba o nível máximo atingido foi de +2.1 m em 5.410 anos A.P. Tal nível de mar foi pelo menos 1 m menor que os registrados nos estados de São Paulo, Paraná e norte de Santa Catarina. Também foram registrados paleoníveis de mar do Holoceno médio maiores para outros setores do litoral brasileiro, por exemplo: Pernambuco e Rio de Janeiro.

Considerando os dados apresentados nesse trabalho, a transição da Planície Fluvial Herbácea para o Canal Fluvial pode refletir a subida do nível relativo do mar com o afogamento das planícies e vales fluviais. A instalação da Planície de Maré com *Spartina* nas margens da laguna deve ter sido favorecida pela gradual descida do nível relativo do mar no Holoceno tardio.

6.2 MUDANÇAS CLIMÁTICAS RECENTES NO SUL DO BRASIL

Estudos sobre as tendências na temperatura máxima e mínima do ar para o sul do Brasil desde a década de 1960 através de estações meteorológicas mostraram aumento da temperatura noturna, com ligeiro aumento na temperatura diurna (Marengo & Camargo 2008). As tendências de temperatura máxima e mínima do ar têm sido comparadas às temperaturas da superfície do mar (TSM), principalmente no Pacífico Tropical e Atlântico Sul, sendo que este último tem experimentado aquecimento desde 1950 (Marengo & Camargo 2008). Segundo estes autores, ambos os aquecimentos podem estar relacionados ao fenômeno do El Niño, às mudanças na circulação oceânica que podem controlar a TSM no Atlântico Sul e principalmente ao aquecimento da atmosfera que vem sendo registrado nas últimas décadas.

Segundo o Boletim Ambiental de Santa Catarina elaborado pelo Centro de Informações de Recursos Ambientais e de Hidrometeorologia (Ciram) umas das principais características do inverno de 2015 em Santa Catarina foram as elevadas temperaturas, que ficaram acima da média climatológica em todas as regiões do estado. No Litoral Sul as temperaturas médias registradas no trimestre julho-agosto-setembro de 2015 atingiram até 3°C acima da normal climatológica. A média da temperatura do trimestre para o litoral variou entre 18 e 20°C. O mês de agosto foi o que apresentou as maiores anomalias, chegando a 3°C acima da média climatológica para grande parte das regiões do estado. Havendo um destaque para o litoral Sul e Extremo Oeste que atingiram de 4 a 4,5°C de anomalia positiva de temperatura (Silva *et al.* 2015).

Estudos da variabilidade mensal da temperatura máxima, temperatura mínima, temperatura média e chuva em Santa Catarina realizados no período de 1955 a 2008 permitiram a identificação dos pontos de mudança no comportamento climático, assim como a determinação das tendências climáticas para o período. Estes estudos conseguiram aferir, que o aumento da temperatura média do ar é uma resposta ao comportamento da temperatura mínima (Figura 10), não só pela tendência de aumento, mas também pelos maiores coeficientes angulares em relação aos obtidos para a temperatura máxima (Minuzzi 2010).

Portanto, muito provavelmente, o recente estabelecimento dos manguezais na área de estudo deve representar uma expansão desse ecossistema para zonas mais temperadas, sendo um reflexo do gradual aumento das temperaturas mínimas de inverno que regulam os limites austrais dos manguezais sul-americano.

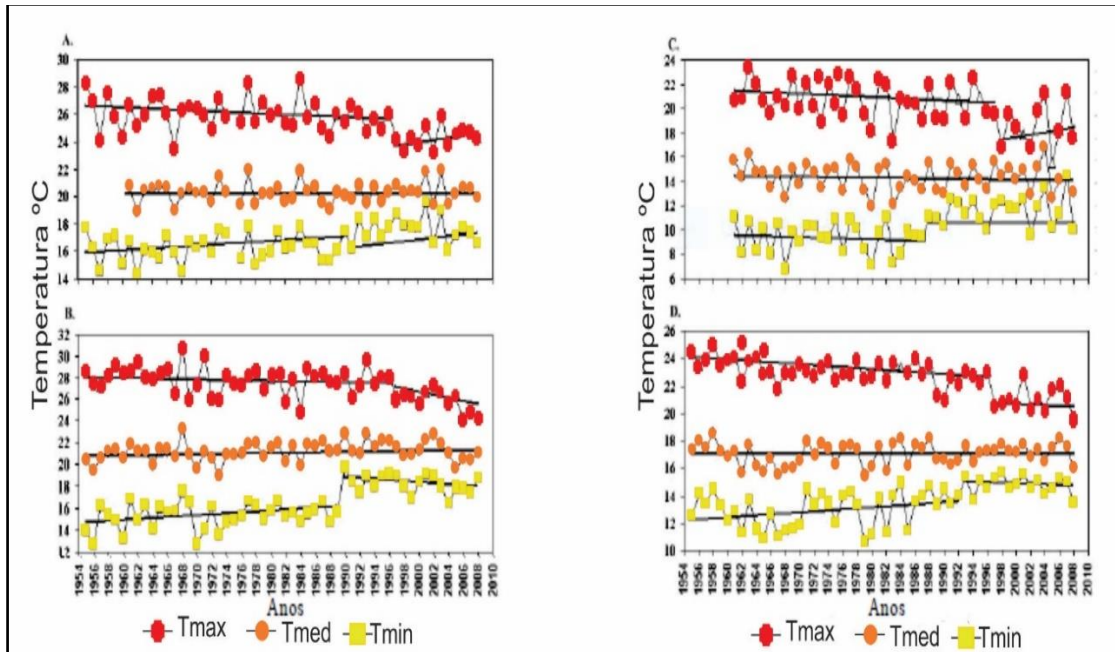


Figura 13- Temperatura máxima, mínima e média do intervalo entre 1954 a 2008 das estações meteorológicas em Santa Catarina: (A) Lajes em fevereiro, (B) Urussanga em novembro, (C) Caçador em setembro e (D) São Joaquim em janeiro, com suas respectivas tendências em períodos divididos pelo ponto de mudança climática. Fonte: Modificado de Minuzzi (2010).

7 CONCLUSÃO

Os dados isotópicos ($\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$), razão elementar de C/N, análises polínicas, análise das feições sedimentares, e datações ^{14}C obtidas a partir do testemunho de sedimentos lamosos de uma planície de maré localizada próxima a lagoa de Santo Antônio em Laguna (SC) indicam um aumento do nível relativo do mar durante o Holoceno, quando foram afogadas as planícies fluviais e baixos cursos dos rios e favoreceu a formação dos sistemas lagunares que são bem representados em toda costa do estado de Santa Catarina, especialmente na área de estudo. Uma gradual descida do nível relativo do mar durante o Holoceno tardio deve ter favorecido o estabelecimento de planícies de maré com *Spartina* nas margens da Laguna de Santo Antônio. Tal transgressão marinha do Holoceno inicial e médio, seguida de uma moderada regressão no Holoceno tardio teria favorecido a expansão dos manguezais sobre as planícies de maré que emergiram nas margens das lagunas. Do ponto de vista físico-químico e hidrodinâmico as condições ambientais foram favoráveis para o estabelecimento e expansão dos manguezais durante pelo menos os últimos 400 anos, quando houve contribuição de matéria orgânica de origem estuarina no local de estudo e amplas planícies de maré lamosas. O fato de não ter sido encontrado grãos de pólen de manguezal desde 9000 anos cal AP no testemunho RP4 indica que outra variável deve ter impedido a implantação do manguezal. A presença de árvores e arbustos de *Laguncularia* e *Avicennia* no local de estudo e a ausência de seus grãos de pólen no perfil estratigráfico estudado indica que esses gêneros foram estabelecidos em algum momento do século XX. Provavelmente, as temperaturas durante os invernos holocênicos no limite austral dos modernos manguezais sul americanos, inviabilizaram a instalação dos manguezais durante o intervalo de tempo analisado no testemunho RP4. Provavelmente, o aumento nas temperaturas mínimas de inverno nas últimas décadas tem permitido a expansão preliminarmente das árvores de *Laguncularia* do norte para o sul de Santa Catarina. Nesse caso, são esperadas um aumento no número de árvores de *Avicennia* na área de estudo na medida que as temperaturas mínimas de inverno aumentem e uma expansão dos arbustos de *Laguncularia* para o litoral do Rio Grande do Sul.

REFERÊNCIAS

- Alves B. J. R., Oliveira O. C., Zotarelli L., Jantalia C.P., Urquiaga S., Boddey R. M. 2005. Emprego de isótopos estáveis para o estudo do carbono e do nitrogênio no sistema solo-planta. In: Aquino A. M. & Assis R. L. (eds.). *Processos biológicos no sistema solo-planta*. Brasília, DF, Embrapa Informação Tecnológica, cap. 13, p. 343-368. Disponível em: <https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/recursos/biotacap13ID-ClaXOEabVo.pdf>. Acesso em: 12 de abril de 2017.
- Amaral P.G.C., Ledru M.P., Branco F.R., Giannini P.C.F. 2006. Late Holocene development of a mangrove ecosystem in southeastern Brazil (Itanhaém, state of São Paulo). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **241**: 608-620. DOI: 10.1016/j.palaeo.2006.04.010. [online] Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0031018206002987>. Accessed 16 November 2018.
- Amaral P.G.C., Giannini P.C.F., Sylvestre F., Pessenda L. C. R. 2012. Paleoenvironmental reconstruction of a Late Quaternary lagoon system in southern Brazil (Jaguaruna region, Santa Catarina state) based on multi-proxy analysis. *Journal of Quaternary Science*, **27** (2): 181–191.
- Angulo R.J., Giannini P.C.F, Suguio K., Pessenda L.C.R. 1999. Relative sea-level changes in the last 5500 years in southern Brazil (Laguna-Imbituba region, Santa Catarina State) based on vermetid ¹⁴C ages. *Marine Geology*, **159** (1-4): 323–339 p.
- Angulo R. J. & Lessa G.C. 1997. The Brazilian sea-level curves: a critical review with emphasis on the curve from Paranaguá and Cananéia regions. *Marine Geology* **140**: 141 - 166.
- Angulo R.J., Lessa G.C., Souza M.C. 2006. A critical review of mid- to late-Holocene sea-level fluctuations on the eastern Brazilian coastline. *Quaternary Science Reviews*, **25**: 486–506.
- Behling H. 1995. Investigations into the Late Pleistocene and Holocene history of vegetation and climate in Santa Catarina (S Brazil). *Veg. Hist. Archaeobot.*, **4**: 127-152. DOI: 10.1007/BF00203932. [online] Available from: <https://link.springer.com/article/10.1007/BF00203932> . Accessed: 20 November 2017.
- Buso Junior A.A. 2010. *Dinâmica ambiental holocênica (vegetação, clima e nível relativomarinho) baseada em estudos interdisciplinares de alta resolução, no litoral norte do estado do Espírito Santo*. MS Dissertation, Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, São Paulo, 190p.
- Cohen M.C.L., Behling H., Lara R.J. 2005. Amazonian mangrove dynamics during the last millennium: the relative sea-level and the little ice age. *Review of Palaeobotany and Palynology* **136** (1-2): 93–108.
- Cohen M. C. L., Pessenda L.C.R., Behling H., Rosseti D. F., França M. C., Guimarães J. T.F., Friaes Y. S., Smith C. B. 2012. Holocene palaeoenvironmental history of the Amazonian mangrove belt. *Quaternary Science Reviews*, **55**: 50-58.

Cohen M.C.L., Rossetti D.F., Pessenda L.C.R., Friaes Y.S., Oliveira P.E. 2014. Late Pleistocene glacial forest of Humaitá—Western Amazonia. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* **415**: 37–47. Disponível em: . Acesso em: 20 de fevereiro de 2018.

Cohen M.L., Alves Igor Charles Castor, França Marlon Carlos, Pessenda L.C.R., Rossetti Dilce de Fátima. 2015. Relative sea-level and climatic changes in the Amazon littoral during the last 500years. *Catena* (Cremlingen), **133**: 441-451.

Cohen M. C. L., Lara R. J., Smith C. B., Angélica R. S., Dias B. S., Pequeno T. 2008. Wetland dynamics of Marajó island, Northern Brazil, during the last 1000 years.” *Catena*, **76**: 70–77.

Cohen M.L., França M.C., Pessenda L.C.R. 2016. Impacts of climate and sea-level changes on mangroves from Brazilian littoral in a millennial, secular, and decadal time scale. *The International Journal of Climate Change: impacts and responses*. **8**: 51-64. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/aabc/v82n3/17.pdf>. Acesso em: 12. Fev. 2017.

Conti J. B. 2005. Considerações sobre as mudanças climáticas globais. *Revista do Departamento de Geografia*. **16**: 70-75.

Colinvaux P., Oliveira P.E.de, Patiño J.E.M. 1999. *Amazon pollen manual and atlas*. Dordrecht, Harwood Academic Publishers, 332p.

Dittmar T., Hertkorn N., Kattner G., Lara R. J. 2006. “Mangroves, a major source of dissolved organic carbon to the oceans.” *Global Biogeochemical Cycles*, **20** (1) GB1012. doi:10.1029/2005GB002570.

Downing J. P. & Cataldo D. A. 1992. “Natural sinks of CO₂: technical synthesis from the palmas del mar workshop.” *Water, Air, and Soil Pollution*. **64**: 439–53.

Erdtman G. 1960. The acetolysis method. A revised description. *Svensk Bot. Tidskr.* **54**: 561–564.

Ewel K. C., Twilley R. R., Ong J. E., 1998. “Different kinds of mangrove forests provide different goods and services.” *Global Ecology and Biogeography Letters*. **7**: 83–94.

Farquhar G. D., Ehleringer J. R., Hubick K. T.1989. Carbon isotope discrimination and photosynthesis. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*. Palo Alto. **40**: p. 503-537.

Fontes N.A., Moraes C.A., Cohen M.C.L., Alves I.C.C., França M.C., Pessenda L.C.R., Francisquini M.I., Bendassolli J.A., Macario K., Mayle F. 2017. The impacts of the middle Holocene high sea-level stand and climatic changes on mangroves of the Jucuruçu river, Southern Bahia – northeastern Brazil. *Radiocarbon*, **59**: 215–230.

França M. C., Francisquini M. I., Cohen M. C. L., Pessenda L. C., Rossetti D. F., Guimarães J. T., Smith C. B. 2012. “The last mangroves of Marajó island astern Amazon: impact of Climate and/or Relative Sea-level Changes.” *Review of Paleobotany and Palynology* **187**: 50–65.

França M. C., Cohen M. C., Pessenda L. C., Rossetti D. F., Lorente F. L., Buso Junior, A. Á., Macario K. 2013. Mangrove vegetation changes on Holocene terraces of the Doce River, southeastern Brazil. *Catena*, **110**: 59-69. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.catena.2013.06.011>. Acessado em 25 de agosto de 2018.

França M. C., Alves I. C. C., Castro D. F., Cohen M. C. L., Rossetti D. F., Pessenda L.C.R., Lorente F.L., Fontes N.A., Buso Junior A. A., Giannini P. C. F., Francisquini M. I. 2015. A multi-proxy evidence for the transition from estuarine mangroves to deltaic freshwater marshes, Southeastern Brazil, due to climatic and sea level changes during the late Holocene. *Catena*, **128**: 155-166. DOI: 10.1016/j.catena.2015.02.005. [online] Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0341816215000478> (Acessado em Fevereiro de 2018).

Fromard F., Vega C., Proisy C. 2004. Half a Century of Dynamic Coastal Change Affecting Mangrove Shorelines of French Guiana. A case study based on remote sensing data analyses and field surveys. *Marine Geology*, **208**: 265–80

França M. C., Cohen, M. C. L., Pessenda L. C. R., Rossetti, D. F., Lorente F. L., Buso Junior, A. A., Guimarães, J. T. F., Friaes, Y., Macario K. 2013. Mangrove vegetation changes on Holocene terraces of the Doce River, southeastern Brazil. *Catena* (Cremlingen), **110**: p. 59-69.

Grimm E.C. 1987. Constrained cluster analysis by the method of Incremental Sum of Squares. *Computers and Geosciences*, **13**: 13–35.

Hesse M. & Waha M. 1989. A new look at the acetolysis method. *Plant Systematics and Evolution*, **163** (3-4): 147–152.

Hurt W. R. 1974. *The relationship between the natural environment and four sambaquis. coast 01 Santa Catarina, Brazil*. Indiana University Museum. 23 p. (Occasional Papers and Monographs, 1).

Kjerfve B. & Lacerda L. D. 1993. “Mangroves of Brazil.” In *Conservation and sustainable utilization of mangrove forest in Latin America and Africa regions*, edited by L. D. Lacerda, 245–72. Okinawa, Mangrove Ecosystem Technical Report No. 2. ITTO/ISME.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2014. *Climate change 2014. Impacts, adaptation, and vulnerability*. Contribution of working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. [Barros, V.R., C.B. Field, D.J. Dokken, M.D. Mastrandrea, K.J. Mach, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea, and L.L. White (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1820 p.

- Lara R.J. & Cohen M.C.L. 2009. Palaeolimnological studies and ancient maps confirm secular climate fluctuations in Amazonia. *Climatic Change*, **94**: 399–408.
- Ledru, M. P., Salgado-Labouriau M. L., Lorscheitter, M. L. 1998. Vegetation dynamics in southern and central Brazil during the last 10,000 yr BP. *Review of Palaeobotany and Palynology*, Amsterdam, **99**: 131-142.
- Ledru, M. P. Late Quaternary and climatic changes in central Brazil. *Quaternary International*. Oxford, **39**: p.90-98, 1993.
- Marengo J. A. 2004. Interdecadal variability and trends of rainfall across the Amazon basin. *Theor. Appl. Climatol*, **78**: 79-96.
- Marengo J.A. 2007. *Mudanças climáticas globais e seus efeitos sobre a biodiversidade: caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do século XXI*. Brasília,DF, Ministério do Meio Ambiente. 214 p.
- Marengo J.A. & Camargo C. C. 2008. Surface air temperature trends in Southern Brazil for 1960–2002. *Int. J. Climatol*. **28**: 893–904 (2008). Disponível em: DOI: 10.1002/joc.1584. Acesso em 20 jan. 2019.
- Marengo J.A. 2014. O futuro do clima no Brasil. *Revista USP*. São Paulo, (103): 25-32.
- Marengo J.A., Torres R.R., Alves L.M. 2017. Drought in Northeast Brazil - past, present, and future. *Theoretical and Applied Climatology*, **129**: 1189–1200.
- Martin L. & Suguio, K. 1978. Excursion route along the coastline between the town of Cananéia (State of São Paulo) and Guaratiba outlet (State of Rio de Janeiro). *In: International Symposium On Coastal Evolution in the Quaternary*. São Paulo. 19 Spec. Publ., 2, São Paulo, [Proceedings...] IGCP, Project 61. 97 p.
- Martin L., Suguio, K., Flexor J. M. 1984. Informações adicionais fornecidas pelos sambaquis na reconstrução de paleolinhas de praia quaternária: Exemplos da costa do Brasil. *Rev. da Pré-História*, **6**: 128-147.
- Martin L., Dominguez J. M. L., Bittencourt A. C. 2003. Fluctuating Holocene sea levels in eastern and southeastern Brazil: evidence from multiple fossil and geometric indicators. *Journal of Coastal Research*, **19**: 101-124. [online] Available from: https://www.jstor.org/stable/4299151?seq=1#page_thumbnails_tab_contents (Accessed 05 December 2018).
- Meyers P.A. 1994. Preservation of elemental and isotopic source identification of sedimentary organic matter. *Chemical Geology*, **114**: 289-302.
- Meyers P.A. 2003. Application of organic geochemistry to paleolimnological reconstructions: a summary of examples from the Laurentian Great Lakes. *Organic Geochemistry*. **34**: 261-289.

- Minuzzi R. B. 2010. Tendências na variabilidade climática de Santa Catarina, Brasil. *R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental*, **14** (12): 1288–1293. Campina Grande, PB, UAEA/UFCG. <http://www.agriambi.com.br>. Acessado em 18 de Maio de 2019.
- Miranda M. C., Rossetti D. F., Pessenda L. C. R. 2009. Quaternary Paleoenvironments and Relative Sea-level Changes in Marajó Island (Northern Brazil): Facies, $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$ and C/N.” *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. **282**: 19–31.
- McLeod E, Chmura G. L, Bouillon S, Salm R, Björk M, Duarte, C. M, Lovelock C. E, Schlesinger W.H, Silliman B. R. 2011. “A Blueprint for Blue Carbon: Toward an Improved Understanding of the Role of Vegetated Coastal Habitats in Sequestering CO₂.” *Frontiers in Ecology and the Environment*. **9**: 552–60.
- McLeod E. & Salm R. V. 2006. *Managing Mangroves for Resilience to Climate Change*. Gland: World Conservation Union IUCN.
- Nagai R. H., Sousa S. H. D. M., Burone L., Mahiques M. M. D. 2009. Paleoproductivity changes during the Holocene in the inner shelf of Cabo Frio, southeastern Brazilian continental margin: benthic foraminifera and sedimentological proxies. *Quaternary International*. Oxford, **206**: 62-71.
- Pessenda L. C. R., Buso Junior A. A., Gouveia S. E. M., Lorente F. de L., Francisquini M. I. 2015. Estudos interdisciplinares na reconstrução milenar da dinâmica climática, da vegetação e marinha no Brasil. *Rev. Piracicaba*, **2**: 153. Disponível em: <http://apostilas.cena.usp.br/moodle/pessenda/livro/Livro%20Didatico%20%202a.%20edicao.pdf>. Acesso em: Mar. 2018.
- Raven P.E.S. & Evert R. 1996. *Biologia vegetal*. Rio de Janeiro, Guanabara Koogan, **7**: 728 p.
- Reimer P.J., Baillie M.G.L., Bard E., Bayliss A., Beck J.W., Blackwell P.G., Bronk Ramsey C., Buck C.E., Burr G.S., Edwards R.L., Friedrich M., Grootes P.M., Guilderson T.P., Hajdas, I., Heaton T.J., Hogg A.G., Hughen K.A., Kaiser K.F., Kromer B., McCormac F.G. Manning S.W., Reimer R.W., Richards D.A., Southon J.R., Talamo S., Turney C.S.M., Van der Plicht J., Weyhenmeyer C.E., 2009. Intcal 09 and Marine 09 radiocarbon age calibration curves, 0 - 50,000 years cal BP. *Radiocarbon* **51**, 1111–1150.
- Reitz R. 1961. Vegetação da zona marítima de Santa Catarina. *Sellowia*. **13** : 17-115.
- Rossetti D. F. & Valeriano M. M. 2007. Evolution of the Lowest Amazon basin modeled from the Integration of geological and SRTM topographic data. *CATENA*, **70**: 253–65.
- Salgado-Labouriau M. L. 1961. Palinologia: fundamentos, técnicas e algumas perspectivas. *Revista Brasileira de Geografia*, **23**: 695-717.
- Salgado-Labouriau M. L. 1984. Reconstrucion de los ambientes atraves de los granos de polen. *Investigacion y Ciencia*, **96**: 6-17.
- Santa Catarina. 1991. Secretaria de Estado de Coordenação Geral e Planejamento. *Atlas Escolar de Santa Catarina*. Rio de Janeiro: Aerofoto Cruzeiro.

Rodrigues M. L. G., Silva M. M., Cruz G. 2016. *Boletim ambiental*. Síntese trimestral: inverno 2015. Florianópolis, Epagri, 51p. Epagri. Documentos, 253.

Soares J.F. 2018. *Estabelecimento e expansão dos manguezais de Laguna-SC: efeito do aquecimento global ou resultado de processos sedimentares naturais?* MS Dissertation, Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém. 1 CD-ROM.

Soares M. L. G, Estrada G. C. D, Fernandez V., Tognella M. M. P. 2012. Southern limit of the Western South Atlantic mangroves: Assessment of the potential effects of global warming from a biogeographical perspective. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, **101**: 44-53.

Suguio K., Martin L., Bittencourt A.C.S.P., Domingues J.M.L., Flexor J., Azevedo A.E.G. de.1985. Flutuações do nível relativo do mar durante o Quaternário Superior ao longo do litoral brasileiro e suas implicações na sedimentação costeira. *Revista Brasileira de Geociências*, **15**: 273-286.

Schaeffer-Novelli, Y. Cintrón-Molero G, Adaime R.R, Camargo T.M. 1990. Variability of mangrove ecosystems along the Brazilian coast. *Estuaries*, **13** (2): 204–218.

Schaeffer-Novelli Y. 1995. Manguezal ecossistema entre a terra e o mar. São Paulo: *Caribbean Ecological Research*. p. 7

Smith C. B., Cohen M. C. L., Pessenda L. C. R., França M. C., Guimarães J. T. F., Rossetti D. F. & Lara R. J. 2011. Holocene Coastal Vegetation Changes at the Mouth of the Amazon River. *Review of Palaeobotany and Palynology*, **168**: 21–30.

Smith C. B., Cohen, M. C. L., Pessenda L. C. R., França M. C., Guimarães J. T. F. 2012. Holocenic proxies of sedimentary organic matter and the evolution of Lake Arari-Amazon Region. *Catena* (Cremlingen), **90**: 26-38.

Smith C. B., Cohen M. C. L., Pessenda L. C. R., França M. C., Guimarães J. T. F., Rossetti D. F., Lara R. J. 2011. Holocene coastal vegetation changes at the mouth of the Amazon River. *Review of Palaeobotany and Palynology*, **168**: 21–30.

Spalding M., Blasco F., Field C. 1997. *World Mangrove Atlas*. Okinawa, International Society for Mangrove Ecosystems.

Steffen W., Grinevald J., Crutzen P., McNeill J. 2011. The Anthropocene: conceptual and historical perspectives. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, **369**, 842–867.

Stockmarr J. 1971. Tablets spores used in absolute pollen analysis. *Pollen and Spores*, **13**: 616-621.

Vannucci M. (eds.) 1999. *Os manguezais e nós: uma síntese de percepções*. ESDUP, São Paulo, 233 p.

Viero A. C. & Silva D. R. A. (org.). 2016. *Geodiversidade do estado de Santa Catarina*. Porto Alegre: CPRM. 1 DVD. (Programa Geologia do Brasil. Levantamento da Biodiversidade) Disponível em: <http://rigeo.cprm.gov.br/jspui/handle/doc/17126>. Acesso em: 12 de Junho de 2018.

Wentworth CK. 1922. A scale of grade and class terms for clastic sediments. *Journal of Geology*, **30**: 377-392. [online] Available from: https://www.jstor.org/stable/30063207?seq=1#page_scan_tab_contents (Accessed 03 December 2016).

Xu Y., He J., Cheng W., Xing X., Li L. 2010. Natural ^{15}N abundance in soils and plants in relation to N cycling in a rangeland in Inner Mongolia. *Journal of Plant Ecology*, **3**: 201–207.